



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS

**AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS ENDEMICOS DE
AGUASCALIENTES PARA EL CONTROL DE *Bactericera cockerelli* EN JITOMATE (*Solanum
lycopersicum L.*)**

QUE PRESENTA

ERICK JOHAN PALACIO DELGADO

PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGRONÓMICAS

TUTOR

DR. ALBERTO MARGARITO GARCÍA MUNGUÍA

COMITÉ TUTORAL

DR. ANTONIO DE JESÚS MERÁZ JIMÉNEZ

M. C. OTILIO VÁZQUEZ MARTÍNEZ

JESÚS MARÍA, AGS., JUNIO DE 2021

CARTA DE VOTO APROBATORIO
COMITÉ TUTORAL

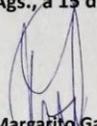
DR. RAUL ORTIZ MARTÍNEZ
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

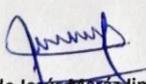
PRESENTE

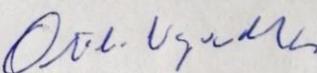
Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante **ERICK JOHAN PALACIO DELG** con ID 164936 quien realizó la tesis titulada: **AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS ENDEMICOS DE AGUASCALIENTES PARA EL CONTROL DE Bactericera cockerelli EN JITOMATE**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 15 de junio de 2021.


Dr. Alberto Margarito García Munguía
Tutor de tesis


Dr. Antonio de Jesús Méndez Jiménez
Asesor de tesis


M.C. Otilio Vázquez Martínez
Asesor de tesis



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 16/06/2021

NOMBRE: ERICK JOHAN PALACIO DELGADO ID 164936

PROGRAMA: MAestría EN CIENCIAS AGRONÓMICAS LGAC (del posgrado): Producción e Inocuidad Agroalimentarias

TIPO DE TRABAJO: (X) Tesis () Trabajo Práctico

TÍTULO: AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS ENDEMICOS DE AGUASCALIENTES PARA EL CONTROL DE Bactericera cockerelli EN (Solanum lycopersicum).

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): EFECTO QUE TIENEN LOS HONGOS ENTOMOPATOGENOS EN EL CONTROL DE Bactericera cockerelli, ASI COMO LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL ÉXITO DE INFECCIÓN

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Si No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

Dr. José de Jesús Luna Ruíz

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

Dr. Raúl Ortiz Martínez

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de este postgrado.

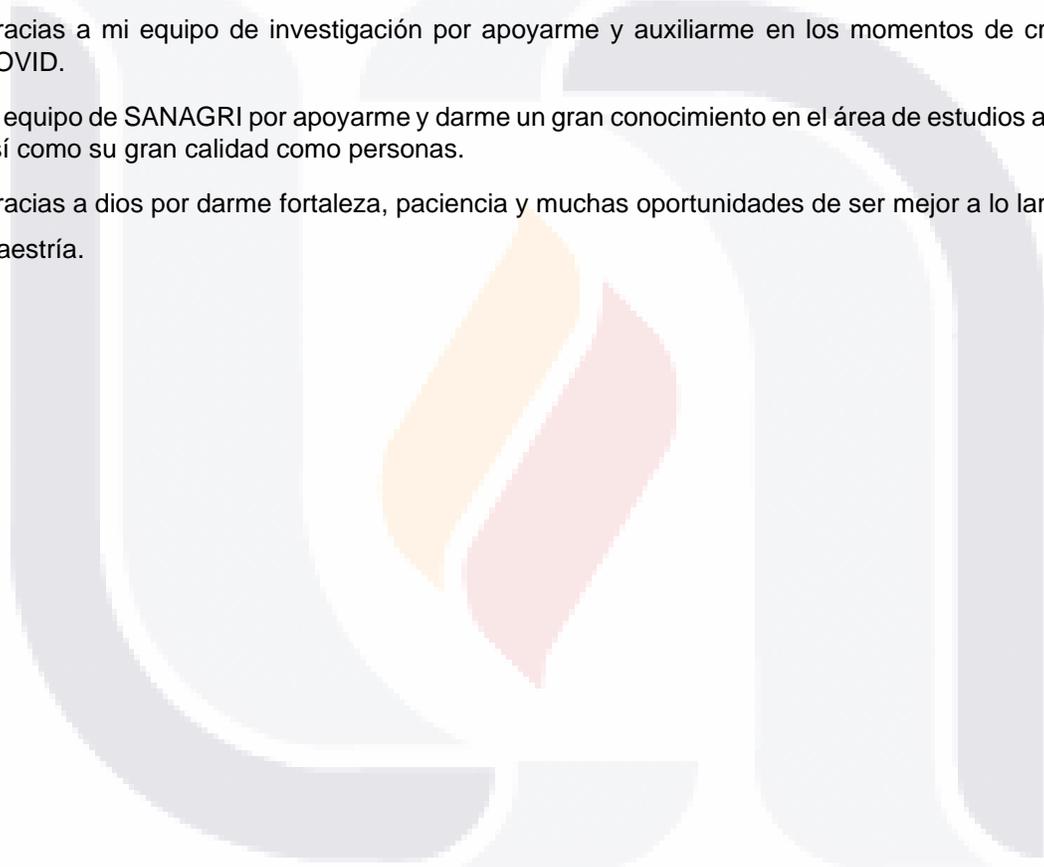
Gracias a mi familia, novia y amigos por apoyarme y creer en mí, así como darme su apoyo incondicional en todo momento.

A mi Tutor Dr. Alberto Margarito García Munguía por su apertura, instrucción y acompañamiento, así como a mis asesores en el Comité Tutoral, Dr. Antonio de Jesús Meráz Jiménez y M. en C. Otilio Vázquez Martínez, igualmente por su apertura, instrucción y acompañamiento en este postgrado.

Gracias a mi equipo de investigación por apoyarme y auxiliarme en los momentos de crisis ante COVID.

Al equipo de SANAGRI por apoyarme y darme un gran conocimiento en el área de estudios agrícolas, así como su gran calidad como personas.

Gracias a dios por darme fortaleza, paciencia y muchas oportunidades de ser mejor a lo largo de la maestría.



INDICE GENERAL

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
1. HIPÓTESIS	9
2. OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	9
3. MARCO TEORICO.....	10
3.1 PRODUCCION AGRICOLA	10
3.2 JITOMATE	11
3.2.1 <i>Jitomate a nivel mundial</i>	11
3.2.2 <i>Distribución geográfica</i>	12
3.2.3 <i>Importancia económica</i>	13
3.2.4 <i>Taxonomía del jitomate</i>	14
3.2.5 <i>Morfología del jitomate</i>	14
<i>Planta</i>	14
<i>Plántula</i>	15
<i>Semilla</i>	15
<i>Germinación</i>	15
<i>Raíz</i>	16
<i>Tallo</i>	16
<i>Hojas</i>	16
<i>Flor</i>	17
<i>Fruto</i>	17
3.2.6 <i>Condiciones ambientales para el cultivo de jitomate</i>	17
3.2.7 <i>Prácticas culturales en el cultivo de jitomate</i>	19
3.2.8 <i>Plagas, enfermedades y fisiopatías en el cultivo de jitomate</i>	20
3.2.9 <i>Enfermedades</i>	22
3.3 CONTROL DE PLAGAS	23
3.3.1 <i>Control biológico</i>	24
3.3.2 <i>Control cultural</i>	25
3.3.3 <i>Control químico</i>	25
3.4 PARATRIOZA (BACTERICERA COCKERELLI)	25
3.4.1 <i>Taxonomía:</i>	26

3.4.2 Ciclo biológico	27
3.4.3 Características morfológicas	28
Huevo.....	28
Primer estadio ninfal.....	28
Segundo estadio ninfal.....	28
Tercer estadio ninfal.....	28
Cuarto estadio ninfal	29
Quinto estadio ninfal.....	29
Adulto	29
3.4.4 Daños generales	29
3.4.5 Control de <i>Bactericera cockerelli</i>	30
3.5 HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	31
3.5.2 Sistema de defensa de los insectos	35
3.5.3 <i>Beauveria bassiana</i>	35
3.5.4 <i>Metarhizium anisopliae</i>	36
3.6 AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	36
3.7 CIENCIA DE DATOS.....	38
3.7.1 Big Data.....	39
3.7.2 Minería de datos.....	39
3.7.3 Ciencia de datos.....	39
3.7.4 Científico de datos.....	39
3.7.5 Bioinformática.....	40
3.7.5 Biología computacional	41
3.7.6 Biocomputación.....	41
4.MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
4.1 AISLAMIENTO Y EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS DE MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA RECOLECTADAS EN AGUASCALIENTES.	43
4.1.1 REPRODUCCIÓN DEL INSECTO CEBO <i>Tenebrio molitor</i>	43
4.1.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO	43
4.1.3 DISEMINACIÓN Y AISLAMIENTO DEL HONGO ENTOMOPATÓGENO EN EL INSECTO CEBO	43
4.1.1 IDENTIFICACION DEL HONGO	44
4.1.5 EVALUACIÓN DE LAS CEPAS DE HONGOS ENTOMOPATOGENOS AISLADOS	44
4.2 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS MEDIANTE AUTODISEMINACIÓN EN <i>BACTERICERA COCKERELLI</i> EN JITOMATE.	45
4.2.1 REPRODUCCIÓN DE CRÍAS DE <i>Bactericera cockerelli</i>	45
4.2.2 CAPACIDAD DE AUTODISEMINACIÓN DE LAS CEPAS DE MAYOR Y MENOR VIRULENCIA MEDIANTE INSECTOS ADULTO MACHO A HEMBRAS.....	45
4.3 DISEÑO DE BASE DE DATOS Y ANALISIS DE DATOS.....	46
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	47

6. CONCLUSIONES.....	59
ANEXOS	60
BIBLIOGRAFÍA	64



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE JITOMATE DE 2007 A 2017 EXPRESADA EN MILLONES DE TONELADAS. FUENTE: FIRA, 2019. 12

FIGURA 2. PRODUCCIÓN HISTÓRICA Y ESTIMADA DE JITOMATE EN MÉXICO. FUENTE: SAGARPA, 2017..... 13

FIGURA 3. BACTERICERA COCKERELLI..... 26

FIGURA 4. CICLO BIOLÓGICO DE BACTERICERA COCKERELLI. COMPRENDE 7 ESTADIOS, HUEVO, 5 ESTADIOS NINFALES Y UN ESTADIO ADULTO, EN TOTAL COMPRENDE UN CICLO DE 21 – 32 DÍAS..... 27

FIGURA 5. ESQUEMA DE INFECCIÓN DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS. FUENTE: ESPINEL Y COL., 2018. 32

FIGURA 6. DIAGRAMA DEL CICLO DE AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS..... 32

FIGURA 7. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA CUTÍCULA DEL INSECTO Y ESQUEMA DE LA PENETRACIÓN. FUENTE: SCHAPOVALOFF, 2012..... 34

FIGURA 8. FLOJO DE TRABAJO DEL CIENTÍFICO DE DATOS. FUENTE: MENDOZA, 2018 40

FIGURA 9. CONJUNTO DE DISCIPLINAS APLICADAS A LA CIENCIA DE DATOS BIOLÓGICOS. FUENTE: FELLMAN, 2018. 42

FIGURA 10. MORTALIDAD DIARIA PROMEDIO PARA LOS 9 TRATAMIENTOS EXPUESTOS AL HONGO ENTOMOPATÓGENO. BB REPRESENTA BEAUVERIA BASSIANA Y MA METARHIZIUM ANISOPLIAE. LA NUMERACIÓN ES EL CÓDIGO ASIGNADO A CADA CEPA..... 47

FIGURA 11. DÍA PROMEDIO EN EL CUAL MURIÓ EL 100% DE INSECTOS. NS (NO MUESTRA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), * (95 % CONFIANZA), **** (99.99 % CONFIANZA)..... 49

FIGURA 12. PORCENTAJE PROMEDIO DE INSECTOS CON CRECIMIENTO FÚNGICO. NS (NO MUESTRA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), * (95% CONFIANZA), **** (99.99% CONFIANZA)..... 49

FIGURA 13. PROPORCIÓN DE SUPERVIVENCIA DE LAS HEMBRAS DE BACTERICERA COCKERELLI EXPUESTAS A UN MACHO TRATADO..... 50

FIGURA 14. SE MUESTRA EL DÍA PROMEDIO EN EL QUE SE LOGRÓ EL 100 % DE MORTALIDAD. NS (NO MUESTRA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), * (95% CONFIANZA), **** (99.99% CONFIANZA). 51

FIGURA 15. MUESTRA EL PORCENTAJE PROMEDIO DE HEMBRAS CON CRECIMIENTO FÚNGICO. NS (NO MUESTRA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), * (95 % CONFIANZA), **** (99.99 % CONFIANZA)..... 52

FIGURA 16. CADA GRAFICA MUESTRA EL PROMEDIO DE HUEVOS, NINFAS Y ADULTOS (F1) GENERADOS POR CADA HEMBRA. NS (NO HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), * (95% DE CONFIANZA), ** (99% DE CONFIANZA), *** (99.9% DE CONFIANZA), **** (99.99% DE CONFIANZA). 53

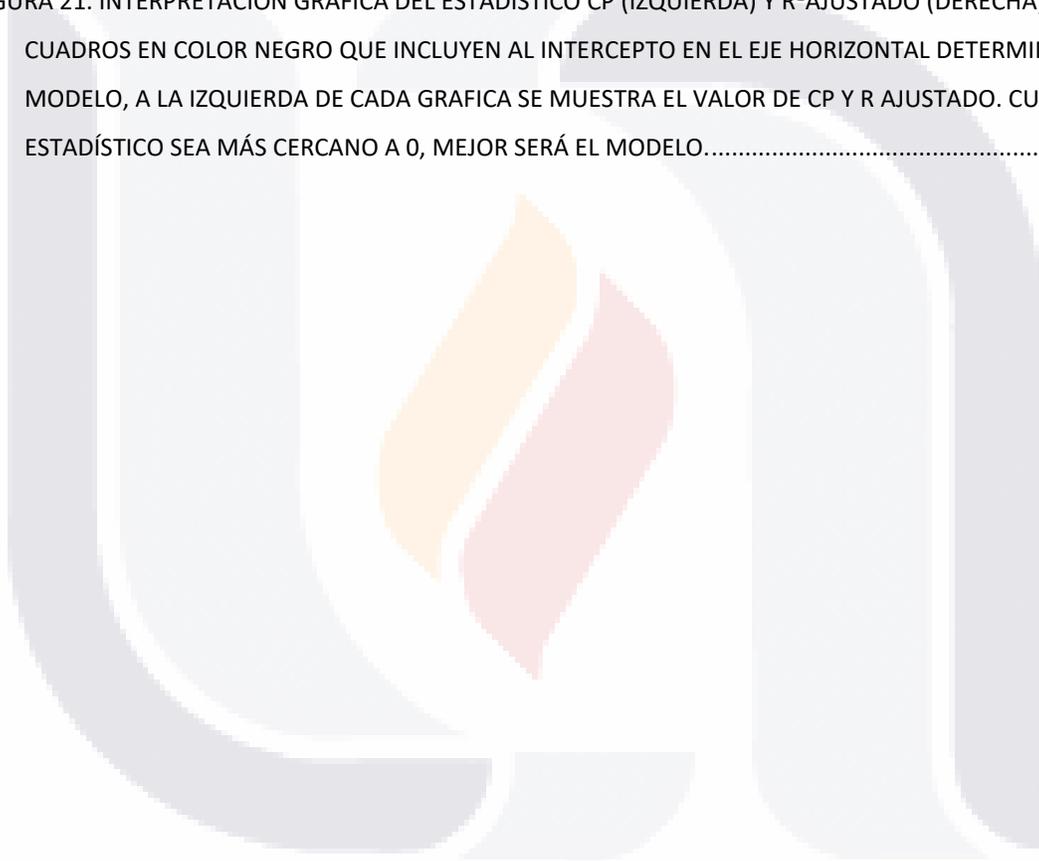
FIGURA 17, CAMBIOS EN PORCENTAJE RESPECTO AL CONTROL PARA CADA FASE DEL CICLO DE VIDA DE BACTERICERA COCKERELLI. LA LETRA AL FINAL DE CADA TRATAMIENTO INDICA LA FASE (H = HUEVO, N = NINFA Y A = ADULTO), 1:5 Y 1:10 INDICA LA PROPORCIÓN MACHO INFECTADO: HEMBRAS SANAS. .. 54

FIGURA 18. PROMEDIO DE HUEVOS CON CRECIMIENTO FÚNGICO. NS (NO HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS), **** (99.99% DE CONFIANZA). 55

FIGURA 19. INTERACCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN Y LA PROPORCIÓN DE INSECTOS INFECTADOS/SANOS EN LA RESPUESTA DEL PORCENTAJE DE INFECCIÓN. 56

FIGURA 20. MODELO DE COLINEALIDAD ENTRE LAS VARIABLES. 57

FIGURA 21. INTERPRETACIÓN GRAFICA DEL ESTADÍSTICO CP (IZQUIERDA) Y R²AJUSTADO (DERECHA). LOS CUADROS EN COLOR NEGRO QUE INCLUYEN AL INTERCEPTO EN EL EJE HORIZONTAL DETERMINAN EL MODELO, A LA IZQUIERDA DE CADA GRAFICA SE MUESTRA EL VALOR DE CP Y R AJUSTADO. CUANDO EL ESTADÍSTICO SEA MÁS CERCANO A 0, MEJOR SERÁ EL MODELO..... 58

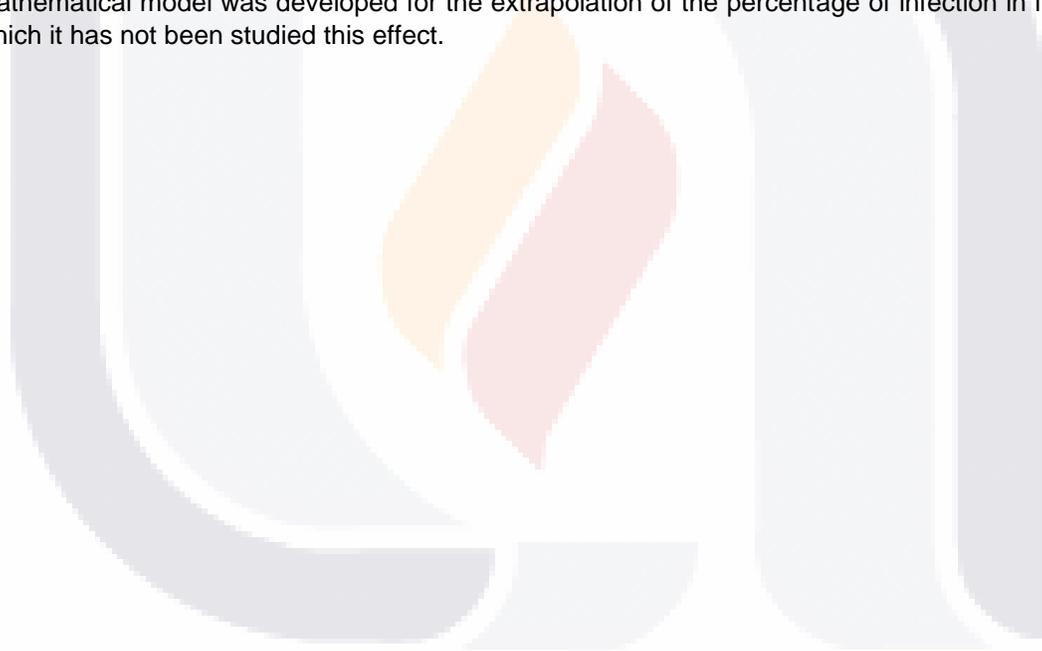


RESUMEN

B. bassiana es un hongo entomopatógeno del cual se han reportado distintas investigaciones las cuales muestran el gran potencial que tiene para el control de distintos insectos. En este estudio se evaluó la patogenicidad de asilados de *B. bassiana* para el control de *Bactericera cockerelli*, mediante la técnica de autodiseminación de adultos macho a hembras. Se usaron dos cepas Bb C4 y Bb C8 para evaluar el potencial que tiene en el ciclo de vida de *B. cockerelli*. Se estimó el tiempo letal medio (LT_{50}) y se cuantificó el porcentaje de esporulación de las hembras expuestas al macho infectado y la cantidad de descendencia (F1) en sus tres estadios (huevo, ninfa, adulto). El LT_{50} varió desde 5.5 días, hasta 11.5 días, siendo la cepa C4 la de menor índice LT_{50} . Se observó un 93.33 % de esporulación para la cepa Bb C4 en las proporciones 1:5 y 1:10, mientras que para la cepa Bb C8 un 86.66% y 83.33% para las proporciones 1:5 y 1:10 respectivamente. Por otra parte, se observó una reducción de los huevos puestos con ambas cepas, mostrando una menor densidad con la cepa Bb M4, seguido de la cepa M8 y por último el control, lo que trajo consigo la reducción en la generación de ninfas y adultos en la descendencia de *B. cockerelli*. Mediante un análisis a partir de una base de datos creada con información de estudios anteriores acerca del mecanismo de autodiseminación y con los resultados obtenidos en este estudio se desarrolló un modelo matemático para la extrapolación del porcentaje de infección en insectos en los que no se ha estudiado su efecto.

ABSTRACT

B. bassiana is an entomopathogenic fungus of which different investigations have been reported which show the great potential it has for the control of different insects. In this study, the pathogenicity of *B. bassiana* isolates was evaluated for the control of *Bactericera cockerelli*, by means of the self-dissemination technique from male to female adults. Two strains Bb C4 and Bb C8 were used to evaluate their potential in the life cycle of *B. cockerelli*. The mean lethal time (LT50) was estimated and the percentage of sporulation of the females exposed to the infected male and the number of offspring (F1) in their three stages (egg, nymph, adult) was quantified. The LT50 varied from 5.5 days to 11.5 days, being the C4 strain the one with the lowest LT50 index. A 93.33% sporulation was observed for the Bb C4 strain in the 1: 5 and 1:10 proportions, while for the Bb C8 strain 86.66% and 83.33% for the 1: 5 and 1:10 proportions respectively. On the other hand, a reduction in the eggs laid with both strains was observed, showing a lower density with the Bb M4 strain, followed by the M8 strain and finally the control, which led to a reduction in the generation of nymphs and adults. in the offspring of *B. cockerelli*. Through an analysis from a database created with information from previous studies about the self-dissemination mechanism and with the results obtained in this study, a mathematical model was developed for the extrapolation of the percentage of infection in insects in which it has not been studied this effect.



INTRODUCCIÓN

El tomate *Solanum lycopersicum* pertenece a la familia Solanaceae. Es una planta herbácea anual y/o bianual, la cual tiene origen en Centroamérica y Sudamérica. Es un cultivo cosmopolita, cultivado para consumo en fresco e industrializado, es de gran importancia económica, esto debido a que es la segunda hortaliza más importante a nivel mundial, en tanto para México representa una derrama económica de más de 1,500,000,000 de dólares anuales (SIAP, 2017). Actualmente existe una plaga con gran capacidad de resistencia a insecticidas químico llamada *Bactericera cockerelli*, de la cual se tienen reportes de pérdidas de cultivos de hasta el 40% del rendimiento (Licona, 2009). En México, se ha reportado en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Estado de México, Baja California Norte, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Morelos, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí, Puebla, Sonora y Sinaloa en cultivos de chile, papa y jitomate (Servín y col., 2008), estos estados representan a los mayores productores de hortalizas del país, por lo que adaptar nuevas técnicas como la de autodiseminación de hongos entomopatógenos para su manejo, es de vital importancia ya que puede tener grandes beneficios económicos y ecológicos.

Investigación realizada por Jirón-Rojas, y col. (2016) observaron una relación estrecha entre las densidades de *Bactericera cockerelli* y el rendimiento comercial del tomate, lo que se traduce en una reducción del rendimiento comercial del jitomate hasta de 39 por ciento.

En algunos estados del Valle de México se realizan hasta 16 aplicaciones de insecticida por ciclo de cultivo para controlar las poblaciones de *B. cockerelli*, lo que se traduce económicamente en \$1400 por aplicación (Rivera-Martínez e Irais, 2020), esto genera costos adicionales muy elevados, por lo que es importante controlar las poblaciones de esta plaga en las primeras días de su incidencia.

El uso de organismos vivos ha tomado gran importancia en los últimos años, dentro de estos se encuentran los hongos entomopatógenos, los cuales afectan una gran variedad de insectos colonizando esto mediante la colonización del insecto y la producción de toxinas lo cual produce la muerte del insecto.

La autodiseminación de hongos entomopatógenos ha sido de gran importancia en investigación debido a su gran capacidad de transmisión dentro de una población de insectos plaga, esto mediante la transmisión por copulación o contacto indirecto de los mismos insectos, logrando reducir la población a niveles que evitan tener una pérdida económica.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

1. HIPÓTESIS

La autodiseminación de hongos entomopatógenos nativos de Aguascalientes inhibe la supervivencia y reproducción de *Bactericera cockerelli* en jitomate.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial que tienen los hongos entomopatógenos endémicos de Aguascalientes para el control de *Bactericera cockerelli* en jitomate mediante el mecanismo de autodiseminación.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Aislar y evaluar hongos entomopatógenos de muestras de suelo agrícola colectadas en Aguascalientes.
- b) Evaluar la transmisión de los hongos entomopatógenos mediante autodiseminación en *Bactericera cockerelli* en jitomate.
- c) Determinar el efecto en la reproducción y supervivencia de la f_1 de las hembras de *Bactericera cockerelli*.
- d) Evaluar los parámetros que interfieren en la transmisión y mortalidad de los hongos entomopatógenos mediante ciencia de datos.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

3. MARCO TEORICO

3.1 PRODUCCION AGRICOLA

La agricultura ha evolucionado en conjunto con la humanidad ya que ha sido parte fundamental en la sociedad, con el tiempo han ido evolucionando las técnicas de producción y mejorando su tasa productiva con el fin de erradicar la hambruna y la pobreza, esto ha conducido a la producción agrícola mundial actual a sufrir diversos cambios en los últimos siglos aumentando así el uso de agroquímicos y fertilizantes sintéticos (Martínez y Huerta, 2018).

Este crecimiento ha ayudado en las zonas rurales a salir de la pobreza un sinnúmero de personas. En los países con bajos ingresos económicos que experimentan una transformación lenta y en los que la industrialización también tarda en afirmarse, el desarrollo agroindustrial y la mejora de los vínculos entre los medios rurales y urbanos tienen un gran potencial para mejorar los estilos de vida y contribuir a reducir o hasta erradicar la pobreza (FAO, 2017)

A pesar de los grandes esfuerzos de la agricultura aún hay unos 700,000,000 de personas viviendo bajo condiciones de pobreza extrema, además unos 815,000,000 sufren de hambre crónica (FAO, 2017). Por esta razón es de suma importancia que las personas y organizaciones dedicadas al desarrollo agrícola sumen sus esfuerzos para lograr la seguridad alimentaria mundial, esto promoviendo políticas que se adecuen a la problemática actual y mejorando las técnicas de desarrollo agrícola sustentable.

A inicios del siglo XX surgió un aumento de la producción agrícola la cual supero en gran medida el índice de crecimiento poblacional, a este evento se le conoció como Revolución Verde (1940 a 1970), fue una renovación e innovación en la manera de producir las principales fuentes de comercio agrícola. Este sistema se basó en el desarrollo de los monocultivos y el uso desmedido de grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas, y volúmenes de agua (Martínez y Huerta, 2018).

Después de este movimiento surgió una gran problemática en cuestiones de salud humana y medio ambiente, esto debido al uso de moléculas que afectan la salud de los humanos y de animales silvestres, además de ser contaminantes de cuerpos de agua y reducir la biomasa de insectos que generan una interacción positiva con un sistema natural.

3.2 JITOMATE

EL jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo producido en casi todo el mundo durante todo el año, el cual pertenece a la familia Solanaceae y originario de los Andes y de México (Mongue y Loría, 2021). El jitomate ha tenido un proceso de selección y domesticación que ha permitido la obtención de un mayor rendimiento, frutos uniformes, mayor firmeza y una vida de anaquel más prolongada, lo que ha provocado una reducción en la variabilidad genética (Pérez y col., 2020).

Se produce en más de 100 países y se consume fresco o industrializado en una gran variedad de productos. Entre los principales productores de jitomate se encuentran (Figura 1): México, China, Estados Unidos, Egipto, Turquía, Italia, España, Brasil e Irán, abarcando más del 80% de la producción mundial (Hernández, y col., 2013).

Se ha considerado como una fuente importante de nutrientes tales como vitamina A y C, minerales calcio, fósforo y hierro y antioxidantes como el licopeno (Hernández, E., y col., 2013), lo que lo ha convertido en un alimento clave para los humanos, además de su gran valor gastronómico y cultural a lo largo del mundo. En México se consume en promedio 15 kg per cápita al año de los cuales las variedades más consumidas son del tipo saladette, bola y cherry (Pérez y col., 2020).

En México a tomado gran importancia en la economía debido a que aproximadamente el 50% de la producción se exporta a Estados Unidos, lo que representa la segunda hortaliza más importante en el valor de las exportaciones. De 2007 a 2017 el cultivo de jitomate tuvo un crecimiento anual promedio de 3.6%, lo que significa un crecimiento del 42% en 10 años, este aumento gracias a la transición de 30,000 hectáreas de cultivos extensivos a cultivos intensivos (FIRA, 2019). En México en 2017 la producción de jitomate se concentró en 5 entidades las cuales son: Sinaloa, Michoacán, Jalisco, San Luis y Zacatecas (SIAP, 2018).

3.2.1 Jitomate a nivel mundial

De acuerdo con la FAO (2018), el jitomate ha tenido un crecimiento anual mundial de 1.4%, teniendo actualmente una superficie mayor a 4.8 millones de hectáreas, teniendo un rendimiento promedio de 37.6 toneladas por hectárea. La producción mundial de jitomate supera los 182,000,000 de toneladas al año, siendo India y China los dos países con mayor crecimiento anual, generando un crecimiento cerca del 50% en los últimos 10 años, solo un 8% más que en México (FIRA, 2019).

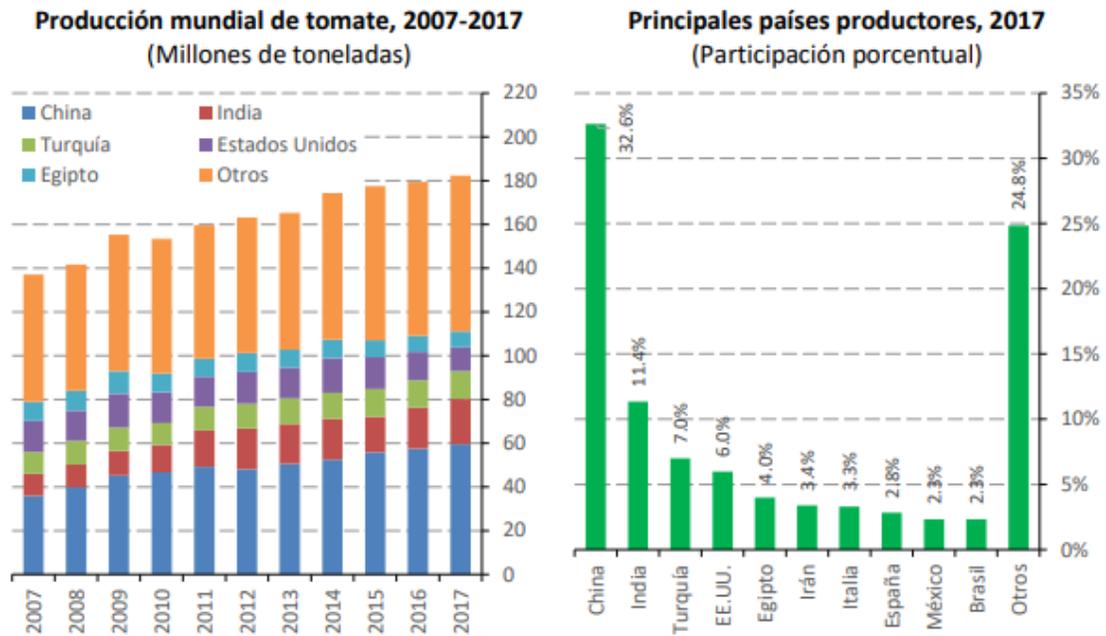


Figura 1. Producción mundial de jitomate de 2007 a 2017 expresada en millones de toneladas. Fuente: FIRA, 2019.

El 75% de la producción se consume principalmente en 10 países. Entre los de mayor consumo se encuentran China, Estados Unidos, Turquía, Italia, India, Brasil, España, Nigeria, Irán y Egipto (FIRA, 2019), lo cual va muy de la mano con los mayores productores de la hortaliza.

3.2.2 Distribución geográfica

El jitomate tiene su origen en Ecuador, Perú y México. En el siglo XVI se introdujo a Europa donde se usaba principalmente como planta de ornato hasta 1900 que se comenzó a extender a lo largo del mundo como alimento (Sañudo, 2013). Actualmente tiene una amplia distribución a lo largo del mundo donde se cultiva y consume.

Su amplia distribución es debido a su gran flexibilidad para crecer en distintas condiciones ambientales, que va desde el nivel de mar hasta los 1800 msnm y climas cálidos hasta templados (Cuesta, 2007).

3.2.3 Importancia económica

El jitomate es una hortaliza de gran importancia económica, esto debido a la adopción cultural y gastronómica a lo largo del mundo, lo que ha conllevado al incremento de la demanda a nivel mundial. Se comercializa fresco y procesado en una gran diversidad de productos, marcas, y presentaciones.

En México la exportación de jitomate representa el 3.46% del PIB agrícola nacional y el 22.55% de la producción de hortalizas. México cubre la mayor parte de las importaciones de Estados Unidos y Canadá. Se estima en el 2030 haya aumento en la demanda mundial de 8.92 a 11.78 MMt, mientras que la producción en México se estima un crecimiento de 3.35 MMt a 7.56 MMt (SAGARPA, 2017), más de un 100% de crecimiento, lo cual podría abarcar una gran parte de la demanda mundial estimada y a su vez se traduciría en un aumento del PIB agrícola.

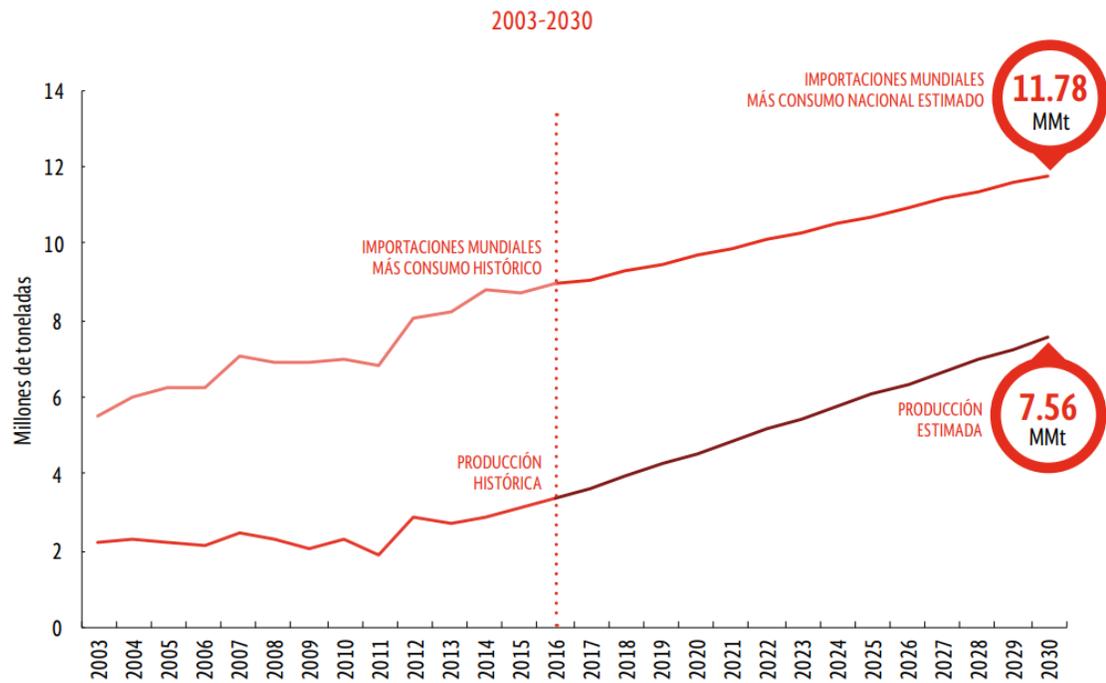


Figura 2. Producción histórica y estimada de jitomate en México. Fuente: SAGARPA, 2017.

El jitomate es un cultivo con un alto potencial en el país, en los últimos años ha tenido una tendencia creciente, principalmente por sus altos rendimientos obtenidos. El volumen cosechado en 2017 fue superior en 631 mil toneladas respecto al obtenido en 2012, lo que en cuestión económica esta hortaliza genera una ganancia total de 1,578 millones de dólares mediante la exportación (SIAP, 2017), por lo que, tiene una gran importancia a nivel nacional, lo que ha generado diversas investigaciones que garanticen su producción eficiente.

3.2.4 Taxonomía del jitomate

El jitomate es una especie perteneciente a la familia de las solanáceas, familia que abarca más de 2300 especies agrupadas en 96 géneros (Domingos, 2003)

Dominio: Eukaryota

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta

Subdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteride

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Genero: *Solanum*

Especie: *S. lycopersicum* L.

3.2.5 Morfología del jitomate

El jitomate es una planta dicotiledónea de tipo anual la cual puede presentar crecimiento determinado o indeterminado. Presenta flores color amarillo con 5 pétalos, las hojas, tallos y ramas presentan tricomas. Las hojas son pinnadas con 2-6 de folíolos opuestos, sésiles, subsésiles o pecioladas. El tamaño del fruto, el color y la pubescencia son variables, son bayas generalmente biloculares en las especies silvestres y bilocular o multiloculares en las variedades cultivadas (Sañudo, 2013).

Planta

Es una planta perenne la cual se cultiva como anual y tiene un porte arbustivo. Se desarrolla de forma semierecta o erecta, es rastrera y su crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas (Pérez, 2017).

En las plantas indeterminadas los tallos sucesivos se desarrollan en forma similar, produciendo una inflorescencia cada 3 hojas. El aspecto es de un tallo principal, que se crece en forma continua con inflorescencias intermodales cada tres hojas (Pérez, 2017).

Las semideterminadas tienen simpodios de 2 o 3 hojas y en casos muy contados una sola hoja y por ello resultan menos sensibles a la determinación del crecimiento, estas características las hacen más adecuadas para el cultivo intensivo (Pérez, 2017).

Por otra parte, las plantas determinadas tienen un crecimiento limitado y pueden llegar a 2 m. Los segmentos del eje principal soportando un número inferior de hojas y terminan en una inflorescencia, el sistema de ramificación lateral experimenta un crecimiento limitado dando a la planta un aspecto arbustivo con simetría circular (Pérez, 2017).

Plántula

Es la planta pequeña producida por semilla de pocas semanas de edad. En el momento de del trasplante tienen un tamaño de 10-15 cm y con 6-8 hojas verdaderas ya formadas, procurando que dispongan de cepellón (Sañudo, 2013).

Semilla

Presenta un tamaño de 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, es discoidal de color grisáceo en forma oval, la superficie presenta vellosidades en su cubierta, pequeñas escamas y restos de las células externas del tegumento. Tienen un peso aproximado de 2.4 mg, por lo que 1000 semillas pesan en promedio 2.4 g, en condiciones controladas 1 kg de fruto produce aproximadamente 4g de semilla en promedio son 1200 semillas (Sañudo, 2013 y Pérez, 2017).

Está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión se constituye por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula, mientras que el endospermo contiene los elementos nutritivos para el desarrollo embrionario (Pérez 2017).

Germinación

Es el proceso mediante el cual la semilla comienza el desarrollo de una nueva planta. Esta comprendido por tres etapas: 1) rápida absorción, que dura aproximadamente 12 horas y se produce una rápida absorción de agua; 2) reposo, dura 40 horas y durante esta etapa no se observa ningún cambio, después comienza a absorber agua de nuevo y 3) crecimiento, asociada al proceso de germinación de la semilla (Pérez, 2017).

Raíz

La raíz de las plantas jóvenes es pivotante (crece 3 cm diarios hasta llegar a 60 cm), posteriormente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa, por lo que es difícil distinguir la raíz principal de las secundarias. El sistema radicular puede llegar hasta una profundidad de 1.25 m, aunque la mayoría de las raíces se encuentran en la capa superior del suelo (0-20cm) y el resto en una profundidad de 0-50 cm (Sañudo, 2013 y Pérez, 2017). El sistema radicular se modifica debido a las prácticas de cultivo, de modo que cuando se hace el trasplante, la raíz pivotante desaparece, haciéndose más importante el desarrollo horizontal. Cuando el suelo se protege con los sistemas utilizados (acolchado, empajado, enarenado), el sistema radicular se extiende en forma de retícula (Cuesta, 2007 y Sañudo, 2013).

El sistema radical está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. En la raíz principal existen tres zonas claramente diferenciadas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular (Nuez, 2001).

Tallo

En las plantas jóvenes el tallo es erguido y cilíndrico, a medida crece se cae con su propio peso y se vuelve anguloso. Tiene un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias (Pérez, 2017). Presenta tricomas en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones presentan yemas reproductivas estas se clasifican como de crecimiento determinado, y si terminan en yemas vegetativas son de crecimiento indeterminado (Sañudo, 2013).

La longitud del tallo puede alcanzar desde los 2.5 a los 10 m, según el tipo de crecimiento. En cada axila de las hojas del tallo principal suele brotar un tallo hijo, a su vez, en las axilas de los tallos hijos brotan tallos nietos y así sucesivamente hasta que se detiene el desarrollo vegetativo (Cuesta, 2007).

Hojas

Las primeras dos hojas verdaderas son simples y luego aparecen compuestas (septadas), hasta llegar a las compuestas con 7 a 9 folíolos. Las hojas del tomate son pinnado-compuestas, una hoja promedio tiene un tamaño de 5 cm de largo y están cubiertas de pelos del mismo tipo que los tallos y presenta un haz de color verde y el envés de color grisáceo. Son compuestas y se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna (Pérez, 2017, Sañudo, 2013 y Cuesta, 2007).

Flor

Presenta una flor color amarilla que consta de 5 pétalos o más sépalos, de igual número de pétalos dispuestos en forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada (Pérez, 2017). Se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara, llegando a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56-76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales. Si las inflorescencias se van alternando con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento indeterminado.

El ovario es bi o plurilocular. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal (Valdepeña, 2016). Las flores son hermafroditas y se reúnen en racimos llamados corimbos. Cada racimo está formado por un número que varía entre 6 a 15 flores, dependiendo de las variedades (Cuesta, 2007).

Fruto

Presenta frutos muy variados, es una baya de color amarillo, rosado o rojo gracias a la presencia de licopeno y caroteno. El color más común es el rojo en la madurez y la pulpa contiene una proporción del 33 % del peso fresco del fruto (Pérez, 2017).

En cuestión botánica, está compuesto de varios lóculos, consistente de semillas dentro de un pericarpio carnoso desarrollado en un ovario. Tiene una forma que puede ser redonda, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada (Sañudo, 2013).

El jitomate está maduro fisiológicamente, cuando el ápice comienza a tomar brillo y color alimonado. El fruto que se corta en estado de madurez fisiológica tarda en ponerse rojo, o en situación de madurez comercial de 4 a 6 días, según la temperatura ambiental (Cuesta, 2007).

3.2.6 Condiciones ambientales para el cultivo de jitomate

Para el desarrollo adecuado de las plantas de jitomate y la optimización del rendimiento de los frutos se requieren condiciones ambientales adecuadas tales como, temperatura, humedad y luz ya que estos juegan un papel importante para que los procesos fisiológicos de “cuajado” y “amarre” del fruto se produzcan de forma ordinaria, ya que temperaturas por encima de los 38°C por más de 5 días

reduce el amarre del fruto debido a que se destruyen los granos de polen por deshidratación (Pérez, 2017).

El jitomate es una planta termo-periódica, lo que hace que crezca mejor con temperaturas variables de 6 a 7 °C entre noche y día (Pérez, 2017). Por otra parte, durante la fase de crecimiento vegetativo la temperatura optima es de 25 °C en el día y 18 C° por la noche, lo que favorece el crecimiento foliar, a expensas del ápice. Así mismo la temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta como: transpiración, fotosíntesis, germinación, etc. (Sañudo, 2013).

Las temperaturas óptimas para la maduración del fruto son entre 18 a 24°C, ya que cuando la temperatura es menor los frutos tienen una maduración muy pobre, e igualmente cuando la temperatura es mayor a 32°C, debido a que la síntesis del licopeno es inhibida por lo que da una coloración amarilla. Por otra parte, la tasa de crecimiento de los frutos varía de acuerdo con la temperatura (Iglesias, 2015).

Otro factor importante es la radiación de luz; las plantas de jitomate se desarrollan mejor con una alta intensidad luminosa. Investigaciones han demostrado que las plantas de jitomate expuestas de 3,000 a 6,000 lux tienen un mayor crecimiento comparado con una radiación de 8,000 lux, por lo que una cantidad de lux demasiado alta también afecta el desarrollo de la planta. El desarrollo normal de jitomate se lleva a cabo con días entre 11-12 h, ya que, días más largos generan una fructificación precoz (Sañudo, 2013).

La radiación incidente dentro de los invernaderos depende de distintos factores y suele ser una limitante en los meses de invierno, ya que la tasa de fotosíntesis se relaciona directamente con el incremento de radiación fotosintéticamente activa (PAR). La biomasa generada por la planta depende fundamentalmente de la cantidad de radiación acumulada, lo cual a latitudes superiores a 30° resulta ser una limitante para el desarrollo. Durante la fase productiva el rendimiento del jitomate es proporcional a la integral de radiación solar (Iglesias, 2015).

Por otra parte, la humedad del suelo requerida por la planta de jitomate es media, esta influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y el desarrollo de las enfermedades criptogámicas por lo que se recomienda humedades no superiores al 50% y suelos no encharcados. Existen 3 periodos críticos de humedad que son: después del trasplante (baja humedad), en la floración e inicio de la fructificación (alta humedad) y en la maduración del fruto (baja humedad). Si la disponibilidad de agua se reduce considerablemente el número de flores formadas puede reducirse desde un 40 hasta un 90 %, lo que conlleva a una reducción del rendimiento (Sañudo, 2013). Se recomiendan suelos profundos permeables y esponjosos con materia orgánica en abundancia o bien migajones arenosos bien drenados (Cuesta, 2007).

La humedad relativa puede oscilar en un rango superior de 60 a 80 %, sin rebasar este último porcentaje ya que favorece el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto, además de dificultar la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando gran parte de las flores (Pérez, 2017), así mismo una humedad relativa por debajo del 60% causa la desecación del polen (Sañudo, 2013).

En sistemas protegidos la ventilación también juega un papel importante, ya que facilita la entrada de aire fresco y elimina el aire caliente que se acumula dentro de la malla sombra, también ayuda a renovar los niveles de oxigenación por lo que es indispensable que la orientación de la malla sombra permita una circulación de aire óptima, lo que permitirá que la humedad relativa no aumente por encima de los niveles críticos (Pérez, 2017).

3.2.7 Prácticas culturales en el cultivo de jitomate

La preparación del suelo es uno de los primeros pasos que hay que tener en cuenta a la hora de cultivar jitomate, es necesario efectuar una buena preparación del terreno, para lo cual se dan dos pasos cruzados de subsuelo y un barbecho profundo, posteriormente se rastrea el suelo y se nivela. Se recomienda un suelo con pH entre 5.5 a 6.8 (Pérez, 2017 y Cuesta, 2007).

Para mantener la humedad del suelo y la humedad relativa el riego es parte fundamental, la frecuencia dependerá del tipo de suelo, la estación y variedad, durante la estación de lluvia no es necesario, mientras que en invierno puede requerir riego cada 2 o 3 semanas, y en verano cada semana (Pérez, 2017). Ciertos tipos de aspersión como el de gota fina pueden reducir la temperatura de la planta, lo que en tiempo de calor esto ayuda y se traduce en mejor rendimiento. Después del trasplante es de suma importancia tener un buen riego ya que es parte crucial si se quiere tener un buen rendimiento, si se realiza un riego excesivo generará un gran crecimiento vegetativo, pero se reducirá la floración (Sañudo, 2013). Los trasplantes se hacen generalmente de 30 a 35 días después de sembrada la semilla y se recomienda hacer por las mañanas (Pérez, 2017), en un sistema de plantación de doble hilera con distancia entre las plantas de 50 cm y entre las hileras de 100 cm, con un caminero de 80 cm (FAO, 2013).

La nutrición es otro elemento importante si se desea incrementar el rendimiento y calidad del fruto. La planta de jitomate requiere grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, para una hectárea se requiere aproximadamente 93 kg de nitrógeno, 20 kg de fósforo y 126 kg de potasio, para obtener un rendimiento cerca de las 40 toneladas (Sañudo, 2013). Aunque la fertilización depende principalmente de la fertilidad del suelo, por lo que es recomendable hacer un análisis de suelo antes de la aplicación (Cuesta, 2007).

Mientras se desarrolla la planta se deben realizar podas las cuales consisten en eliminar los brotes laterales con el fin de conservar el tallo principal. Estos brotes laterales pueden competir por los nutrientes de las hojas lo que provoca senescencia foliar y reducción en su capacidad fotosintética (Ponce y col., 2012), lo que se traduce en una baja en el rendimiento, por lo tanto, una buena poda generara la obtención de plantas más vigorosas y mayor rendimiento de frutos.

3.2.8 Plagas, enfermedades y fisiopatías en el cultivo de jitomate

Entre las plagas que mayormente afectan al Jitomate se encuentran:

3.2.8.1 Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* W. y *Bemisia tabaci* G.)

Tiene una gran capacidad de reproducción en corto plazo y genera debilitamiento, moteado, amarillamiento y contaminación de frutos y hojas por su excreción (CESAVEG, 2011).

3.2.8.2 Pulgón verde del algodnero (*Aphis gossypii*)

Los estados ninfales de este pulgón son los que ocasionan daño al cultivo, esto se debe al hábito alimenticio al tomar la savia de órganos jóvenes y tejidos tiernos que se encuentran en pleno desarrollo lo que ocasiona debilitamiento de la planta pudiendo manifestar amarillamiento en las hojas y reducción del crecimiento. Los pulgones se ubican generalmente en el envés de la hoja (FAO, 2013).

3.2.8.3 Trips (*Thrips tabaci* L)

Provoca daño directo al alimentarse de las hojas, esto genera que la planta no realice correctamente la fotosíntesis, se deshidrate y puedan entrar enfermedades lo que ocasiona pérdidas de hasta un 30 % en el rendimiento (CESAVEG, 2011).

3.2.8.4 Acaro bronceado del tomate (*Aculops lycopersici*)

Al inicio del daño producido por este acaro los órganos toman una coloración verdosa oliva y luego las células al entrar en contacto con el oxígeno toman un aspecto pardo bronceado antes de su desecación. Se encuentran generalmente en el envés de las hojas de la parte inferior de la planta (FAO, 2013).

3.2.8.5 Araña roja (*Tetranychus urticae* K)

Este insecto produce daños severos en la planta, además de cubrirla con telaraña, se alimenta de la savia de las hojas ocasionando puntos blancos, coloraciones amarillentas y marrones en las hojas y en poblaciones grandes pueden provocar la defoliación de plantas (CESAVEG, 2011).

3.2.8.6 Acaro del bronceado (*Aculops lycopersici* M)

Afectan los tallos, el haz y el envés de las hojas, estas se tornan de color verde claro a un color café claro o bronceado, generalmente agrietan los frutos y en la planta se genera una muerte descendente (CESAVEG, 2011).

3.2.8.7 Gusano soldado (*Spodoptera exigua* H)

Provoca daños severos en las primeras etapas de desarrollo ya que se alimentan de las hojas y brotes tiernos y frutos (CESAVEG, 2011).

3.2.8.8 Palomilla del tomate (*Tuta absoluta*)

Esta plaga ha llegado a ocasionar pérdidas de hasta un 100% del rendimiento. Los responsables de estas pérdidas son los estados larvales, debido a su hábito minador. La larva cuando recién eclosiona penetra en el tejido foliar desarrollando minas traslucidas. Después del segundo y tercer estado larval estas pueden migrar a otros órganos de la planta (FAO, 2013).

3.2.8.9 Perforador del fruto de tomate (*Neoleucinodes elegantalis*)

Las larvas son las que producen el daño al ingresar al fruto por la parte media e inferior generando una herida que después cicatriza generando una especie de espinilla. Las larvas inicialmente se alimentan de las semillas tiernas, seguido a esto se comienzan a alimentar de la pulpa hasta finalizar su desarrollo (FAO, 2013).

3.2.8.10 Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

Es un insecto picador que se alimenta de savia el cual pertenece al orden Hemíptera y que ocasiona dos tipos de daño; el primero es el daño directo el cual es provocado por la transmisión de una toxina, la cual es transmitida solamente por las ninfas, lo que provoca que las plantas se pongan amarillas y raquíticas, afectando el crecimiento y la calidad de frutos; por otra parte el daño indirecto causado por los fitoplasmas (Gómez, 2008 y Pérez, 2017).

3.2.8.11 Oruga medidora (*Pulsia bonariensis* y *Rachuiplusia un*)

Son orugas defoliadoras, estas se alimentan de hojas, flores y brotes. Para empupar encorva una hoja y teje un capullo donde persiste hasta convertirse en adulto. La hembra coloca los huevos en forma aislada, estos son blancos de forma hemisférica (FAO, 2013).

3.2.9 Enfermedades

Por otra parte, también hay una gran diversidad de enfermedades que afectan a la planta de jitomate, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

3.2.9.1 Mal de los almácigos o Damping off

Es una de las enfermedades más importantes que ocurre en la etapa de almácigo logrando atacar a las semillas durante la germinación, a las plántulas (pre y/o post emergencia) y a la planta después del trasplante. La enfermedad es originada por un complemento de hongos con extenso rango de hospedantes que sobreviven en el suelo (FAO, 2013).

3.2.9.2 Oídio

Es una enfermedad foliar de con gran importancia económica, una que se instala en la planta se disemina rápidamente. Sus agentes causales pueden ser *Leveillula taurica* o *Erysiphe* spp. Ataca el follaje tanto en condiciones de sequedad como de humedad, provocando así defoliación y asoleamiento de los frutos. Las manchas surgen en un inicio septadas y a medida que progresa la enfermedad convergen disminuyendo el área fotosintéticamente activa (FAO,2013).

3.2.9.3 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Genera manchas acuosas de color marrón grisáceo en las hojas, en los tallos las lesiones comienzan por lo general en el punto de inclusión de las ramas o en el pie de los peciolo de las hojas, este hongo se extiende de manera longitudinal a lo largo del parénquima cortical. Los frutos pueden presentar manchas terrosas jaspeadas y abollonadas en la superficie (FAO, 2013).

3.2.9.4 Cenicilla (*Oidiopsis táurica*)

Esta enfermedad ocasiona una deshidratación parcial o total del follaje de forma ascendente, lo que provoca una reducción del área fotosintética y, en consecuencia, se reduce la longevidad de la planta, el rendimiento y la calidad de los frutos (Sañudo, 2013).

3.2.9.5 Mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*)

Es una enfermedad significativa en el cultivo de jitomate. Al inicio genera pequeñas manchas en las hojas y frutos las cuales son oscuras, angulares y casi siempre sin halo amarillento o bien si lo poseen es muy discreto. En los frutos las manchas son de apariencia lignificada en forma de costra (FAO, 2013 y Sañudo, 2013).

3.2.9.6 Marchitamiento bacteriano (*Ralstonia solanacearum*)

La sintomatología de esta enfermedad se muestra a través de marchitamientos imprevistos de la planta sin amarillamiento y se observa como cuelgan del tallo las hojas las cuales mantienen la coloración verde. En un corte transversal se puede observar el oscurecimiento de la xilema (FAO, 2013).

3.3 CONTROL DE PLAGAS

Desde el inicio de la revolución verde en el siglo pasado, el problema de las plagas en los cultivos incrementó considerablemente y consiguó aumentó el uso de técnicas para el control de plagas, ya sea, de control químico, biológico o cultural.

En los últimos años se ha incrementado considerablemente el uso de insecticidas orgánicos sintéticos en la producción agrícola, pero sin un control de estos, sin una regulación de su empleo, sin un estándar de dosis permitidas, ha tenido efectos nocivos en el medio ambiente y la salud

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

humana. En las últimas décadas la resistencia de los insectos plaga se ha convertido en un problema mundial, ya que, a finales de los 80 se tenía registrado más de 500 especies de insectos con resistencia a plaguicidas (Ruiz y col., 2011).

Lo anterior ha conllevado a la generación de resistencia de gran cantidad de plagas; la resistencia se puede definir como la capacidad de supervivencia de determinados organismos frente a otros al usar dosis de plaguicidas recomendadas y suele ocurrir como consecuencia del mal uso o abuso de los productos fitosanitarios, en cuyo caso hablaríamos de una resistencia adquirida o fisiológica, la cual se puede heredar de generación en generación. Esto la practica esto genera la necesidad de administrar cantidades de producto cada vez más altas, esta práctica a largo plazo llegará a ser inviable ya que, ocasiona gran contaminación. Los principales riesgos para el medio ambiente que se derivan del uso de estos productos, son la contaminación del agua, aire, suelo, así como las secuelas que puede ocasionar en los seres vivos que están en contacto directo o indirecto (González, 2018).

Conociendo esta problemática sobre el medio ambiente surgida por la utilización de grandes cantidades de fitosanitarios, se recomienda una serie de medidas para disminuir en la medida posible estos efectos, entre ellas la solución más viable es la utilización de diferentes métodos de control y distintas materias activas siguiendo las instrucciones de etiquetado de cada producto para tener el mejor manejo (González, 2018).

Investigaciones nuevas agrupan al 80 % de las especies de insectos plaga resistentes a insecticidas en los órdenes: Coleoptera, Diptera, Heteroptera y Lepidoptera y el 20 % restante en Thysanoptera (trips) y Dictyoptera (Ruiz y col., 2011).

3.3.1 Control biológico

El control biológico, se considera una de las técnicas preferibles de aplicar en el control de plagas, por sus grandes beneficios que genera al ambiente, y su gran capacidad de controlar plagas. Este método consiste en el uso de organismos vivos o metabolitos de ellos para disminuir la densidad de población o el impacto de un organismo plaga, y hacerle menos abundante o perjudicial de lo que es. Para el control biológico se pueden usar microorganismos entomopatógenos como virus, bacterias, hongos, nematodos, otros insectos, etc. (Jacas y col., 2010).

El control biológico tiene un fundamento ecológico, en el que hay implicados tres factores: la población-comunidad, el equilibrio y el control naturales. En la naturaleza, todas las especies existen como grupos de individuos que viven y se reproducen en una zona (población), donde conviven con otras especies, formando una comunidad. Las poblaciones de las plagas pueden sufrir variaciones de tamaño a corto plazo y tienen una estructura de edades que hace que en cierto momento haya

solo un estado de desarrollo o varios dependiendo de la especie. El conocimiento de estos factores es fundamental para poder sincronizar plaga y enemigo (Jacas y col., 2010).

3.3.2 Control cultural

Este tipo de control radica en el uso de las prácticas agrícolas comunes, o con algunas modificaciones, con la intención de favorecer a prevenir los ataques de insectos. Esto mediante la creación de ambiente menos favorable para su desarrollo, la eliminación del insecto, o la disminución de sus daños. Generalmente no se trata de medidas improvisadas, tomadas ante la presencia de una plaga, sino que es una planificación previa a la llegada de los insectos que puedan afectar los cultivos. Estas medidas incluyen: labores para preparar el suelo, elección de métodos de siembra, selección de variedades resistentes a plagas comunes, ejecución de cultivos y aporques, manejo adecuado de agua y fertilizantes, periodos de campo limpio, oportunidades de cosecha, entre otros métodos. La aplicación de este método requiere de tener un conocimiento sobre la fisiología y fenología de la planta cultivada, así como de sus características agronómicas, además también de un buen conocimiento de las plagas locales (Cisneros, 2010).

3.3.3 Control químico

El control químico es el último paso de un programa de manejo integrado de plagas. Su uso solo se debe aplicar después de ya se han aplicado las alternativas de control biológico y control cultural y que las poblaciones de insectos siguen representando un problema grave el cual pueda afectar el rendimiento económico. Sin embargo, dentro de los productos químicos que se utilizan existen categorías de acuerdo con su nivel de impacto a terceros, por lo que se le debe dar prioridad al uso de insecticidas que tengan un bajo impacto. Con base a lo mencionado anteriormente se debe considerar la autorización para el cultivo, dosis, grupo toxicológico por modo de acción, intervalo de tiempo de seguridad, grado de toxicidad y forma de aplicación (Suarez, 2014).

3.4 Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

Las paratriozas se consideraban como plagas secundarias hasta hace algunos años, esto debido a que en México se ha asociado como responsable de la transmisión de fitoplasmas en los cultivos de solanáceas tales como chile, papa, jitomate y tomate de cascara. Genera dos tipos de daño: daño directo causado por las toxinas que segrega, esta sustancia daña las células que producen clorofila por lo que hace que las plantas se vean de una coloración amarilla y raquíticas; y por otra parte el

daño indirecto es causado por la transmisión de fitoplasmas el cual solo ha sido reportado en México (Gómez, 2008).

3.4.1 Taxonomía:

Este insecto fue nombrado por primera vez como *Trioza cockerelli*, un tiempo después se confirmó como *Paratrioza cockerelli*, y se ubicó en la familia Psyllidae del orden Homoptera. Actualmente se reclasificó en la familia Triozidae, superfamilia Psylloidea y es conocida como pulgón saltador, psilido de la papa, psilido del tomate, salerillo o simplemente Paratrioza (Caudillo, 2010). La clasificación taxonómica descrita por Cranshaw (2010) es la siguiente:

Reino: Animalia

Subreino: Eumetazoa

Subphylum: Hexapoda

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Suborden: Homoptera

Familia: Triozidae

Subfamilia: Psylloidea

Género: *Bactericera*

Especie: *cockerelli* (Sulc)



Figura 3. *Bactericera cockerelli*.

3.4.2 Ciclo biológico

El ciclo biológico de *Bactericera cockerelli* comprende las etapas (Figura 4): huevo, 5 estadios ninfales y un estado adulto (OIRSA, 2015). Los cinco 5 estados ninfales son morfológicamente muy similares, de coloración verdosa amarillenta brillante, su cambio más evidente se muestra en el tamaño, desarrollo de paquetes alares e incremento de las glándulas cerosas (Caudillo, 2010). Una hembra adulta puede ovipositar hasta 500 huevos durante un ciclo el cual comprende en promedio 21 días. El tiempo de vida de estos insectos desde huevo hasta la fase adulta puede ir desde 15 hasta 30 días; el primer estadio de huevo dura 5.5 días, los 5 estadios ninfales 14-17 días y adulto 6.1 días, la temperatura optima de desarrollo es de 27 °C; las temperaturas menores a 15 °C y superiores a 32 °C afectan notablemente su desarrollo y supervivencia (Caudillo, 2010 y Schaper, 2012).

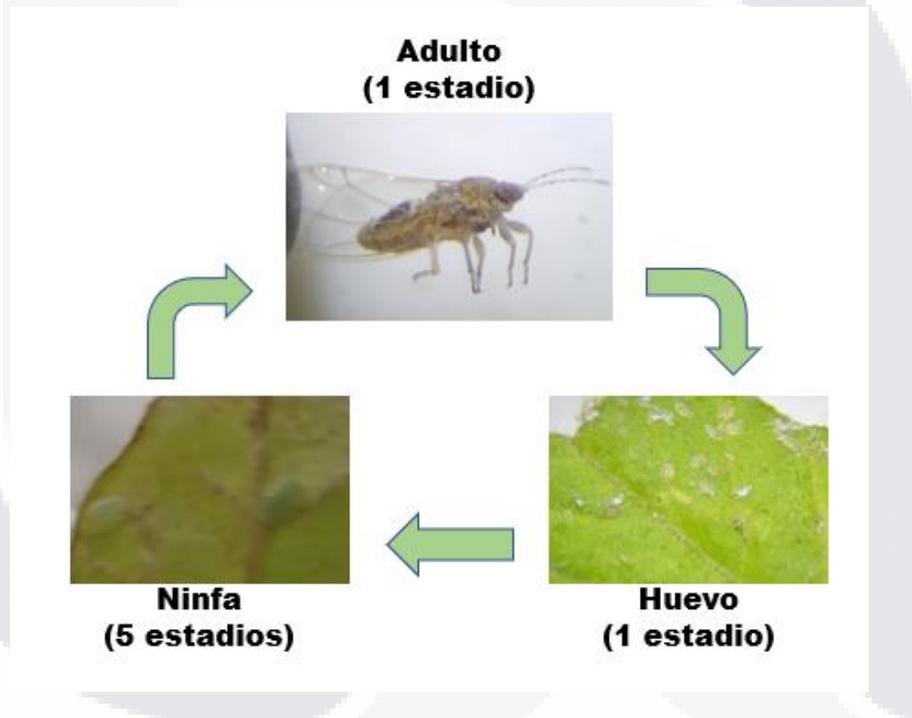


Figura 4. Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*. Comprende 7 estadios, huevo, 5 estadios ninfales y un estadio adulto, en total comprende un ciclo de 21 – 32 días.

3.4.3 Características morfológicas

Huevo

Los huevos tienen una longitud promedio de 0.33 mm y ancho de 0.18 mm, con ovoides color amarillento – anaranjado, en uno de sus extremos presenta un filamento el cual sirve para adherirse a las hojas, la duración en este estado es de 5.5 días (ORISA, 2015 y CESAVEM, 2014). Generalmente son depositados en el envés de las hojas más tiernas, al estar cerca de eclosionar se logran observar los ojos rojos de las ninfas del primer estadio (Caudillo, 2010).

Primer estadio ninfal

Presenta una longitud de 0.40 mm y un ancho de 0.21 mm. Tienen una coloración anaranjada, antenas con fracciones basales cortas y gruesas los cuales posteriormente se hacen más finas hasta terminar en un pequeño fragmento con dos setas sensorias, tienen ojos visibles en la parte dorsal y ventral. El tórax tiene paquetes alares poco notorios y la división del cuerpo no está bien definida (OIRSA, 2015).

Segundo estadio ninfal

Presenta una longitud de 0.52 mm y un ancho de 0.33 mm. En este estadio se puede observar bien definidamente las divisiones de la cabeza, el abdomen y el tórax. Presenta antenas con segmentación no diferenciada donde se aprecian 2 sencillas placoides y 2 setas sensoriales. El tórax tiene una coloración verde amarillenta y los paquetes alares se notorios, así como la división en las patas. El abdomen y el tórax incrementan su tamaño, por tanto, todas las estructuras también lo hacen (Caudillo, 2010).

Tercer estadio ninfal

Presenta una longitud de 0.80 mm y un ancho de 0.48 mm. La segmentación presente en la cabeza, abdomen y tórax es muy notoria. Presenta una cabeza color amarillenta, por otra parte las antenas presentan las mismas características que el segundo estadio. Los ojos presentan una coloración rojiza y en el tórax se puede apreciar un tono verde-amarillento, en este estadio se logra apreciar con gran facilidad los paquetes alares en metatórax y mesotórax (OIRSA, 2015).

Cuarto estadio ninfal

Tiene una longitud de 1.18 mm y un ancho de 0.75 mm. La segmentación de las patas está bien definida y se aprecia en la parte terminal de las tibias posteriores. El tórax tiene una coloración verde amarillento, se pueden apreciar los segmentos tarsales y algunas uñas. Los paquetes alares están bien diferenciados. El abdomen tiende a una coloración amarilla y en los primeros segmentos abdominales se observan un par de espiráculos. La cabeza y antenas presentan la misma morfología (OIRSA,2015).

Quinto estadio ninfal

Presenta una longitud de 1.65 mm y un ancho de 1.23 mm. La cabeza y abdomen presentan una coloración verde claro, mientras que el tórax presenta una tonalidad un tanto más oscuro. Las antenas están seccionadas en dos partes por una grieta marcada cerca de la parte media. Los ojos tienen una coloración guinda. En el tórax se observan tres pares de patas los cuales tienen su segmentación bien definida. En este estado los paquetes alares están bien diferenciados y sobresalen del resto del cuerpo (OIRSA, 2015).

Adulto

Al emerger tiene presentan un color verde amarillento, es inactivo y de alas blancas que al paso de unas cuantas horas se tornan transparentes. La coloración del cuerpo sufre cambios en los primeros 7 a 10 días hasta pasar de un color ligeramente ámbar a café oscuro o negro. La cabeza presenta un largo de un décimo del tamaño total, con una mancha color café la cual representa la división con el tórax, sus ojos son grandes de color café y sus antenas son filiformes. Las alas presentan una longitud de aproximadamente 1.5 veces el largo del cuerpo, tienen una venación propia de la familia, y el tórax tiene un color blanco amarillento con manchas color café muy notorias. El abdomen en las hembras presenta 5 segmentos visibles más el segmento genital, mientras que los adultos presentan 6 segmentos visibles más el genital, característica que diferencia las hembras de los machos (Caudillo, 2010).

3.4.4 Daños generales

Actualmente hay una gran cantidad información sobre los daños que genera *B. cockerelli* durante su periodo de alimentación en las plantas hospedantes y sobre su posible transmisión de enfermedades; aún no se sabe con certeza todas las enfermedades que transmite el vector, sin embargo, se asocia al amarillamiento por psilidos, a la punta morada de la papa, y por último a la

transmisión de fitoplasmas, es por eso que se menciona que *B. cockerelli* causa daños directos sobre las plantas hospedantes como inyección de toxinas, extracción de savia por su hábito alimenticio de las plantas, y la secreción de mielecilla que trae consigo como consecuencia el crecimiento de hongos los cuales inhiben el proceso de fotosíntesis, reduciendo consigo la tasa fotosintética de la planta, por otra parte los daños indirectos se debe a la transmisión de procariontes y fitoplasmas (OIRSA, 2015).

Bactericera cockerelli es un agente que transmite la enfermedad permanente del jitomate lo que provoca en las hojas afectadas una clorosis en los bordes de los folíolos en la parte apical. Genera una disminución en el crecimiento de la planta y doblamiento de hojas jóvenes en el haz tomando colores verde pálido o amarillo. Este daño genera que las flores se sequen y por tanto sean abortadas, por otra parte, en los frutos se reduce el tamaño y el número de frutos por planta sin generar deformaciones en los mismos (CESAVEG, 2011).

3.4.5 Control de *Bactericera cockerelli*

Existen diversos programas de manejo integrado para *B. cockerelli* donde el principal método de control se basa en insecticidas químicos (Caudillo, 2010). Se debe hacer un manejo adecuado desde la que se produce la plántula hasta que se cosecha el producto, en la producción de la planta se deben tratar las charolas con insecticidas sistémicos y se debe monitorear periódicamente la presencia del insecto con trampas de pegamento de color amarillas y con trampas de agua esto con el fin de capturar los posibles indicios de esta plaga. Una vez que se tiene la planta en invernadero se debe evitar la presencia de plásticos y mallas perforadas, de igual forma se deben colocar trampas amarillas en salas de entrada y a lo largo de todo el invernadero. Si se observan plantas con presencia de la plaga o síntomas iniciales se deben eliminar para evitar reinfección y así mismo se debe realizar una aplicación total de neonicotinoides y piretroides en dosis adecuadas para el control adultos de *Bactericera cockerelli* (CESAVEG, 2011).

El uso intensivo de insecticidas de amplio espectro ha generado altos niveles de contaminación al medio ambiente, daños a la salud humana y fauna silvestre, además de generar resistencia por parte de *B. cockerelli* a los compuestos organofosforados, carbamatos y piretroides, por lo que se ha optado por la búsqueda de insecticidas bioracionales, dentro de los cuales se encuentran los reguladores de crecimiento pyriproxifen y flufenoxurón los cuales actúan sobre los estados inmaduros, el aceite vegetal de semilla de soya a base de sales potásicas de ácidos grasos el cual actúa como barrera física y de contacto al cubrir por completo las ninfas y adultos y evita el intercambio gaseoso por lo que genera asfixia de los insectos; otro compuesto usado es la abamectina la cual es producida por *Streptomyces avermitilis* y actúa sobre los canales de cloro

estimulando la liberación del neurotransmisor GABA, por lo que inhibe la transmisión de impulsos eléctricos y paraliza al insecto provocando su muerte (Bujanós, 2007 y Caudillo, 2010).

Por otra parte, también se usa el control biológico en el cual se utilizan los enemigos naturales del insecto tales como hongos entomopatógenos, depredadores y parasitoides, lo cual ayuda a reducir el uso excesivo de insecticidas. Este tipo de control no extermina la plaga, pero permite mantener niveles que no causen daño económico en los cultivos, ni impactos negativos en el medio ambiente y en los humanos (Ramírez, 2008 y Cadillo, 2010).

3.5 HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Los microorganismos entomopatógenos usados en el control biológico incluyen virus, bacterias, protozoos, nematodos y hongos. La comparación entre estos organismos y los insecticidas químicos se suele hacer en base a la eficacia y el coste. Además, cuando son considerados los beneficios al medio ambiente con la protección del hombre y otros organismos vivos, reducción de residuos químicos, aumento de la actividad de otros enemigos naturales de las plagas y biodiversidad de ecosistemas, sus ventajas aumentan considerablemente (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

Los hongos son un grupo de microorganismos filogenéticamente diversos, heterotróficos, eucariontes, unicelulares o hifales, que presentan reproducción por esporas sexuales, asexuales o ambas y son los primeros agentes biológicos en ser utilizados para el control de plagas, debido a su capacidad de producir enfermedad y muerte de los insectos (Motta y Murcia, 2011). Son importantes agentes de control biológico de insectos que frecuentemente ocasionan epizootias que reducen significativamente las poblaciones de insectos plaga. Actualmente se conocen más de 700 especies de hongos entomopatógenos, pero solo poco más de 10 han sido empleados en el control biológico de insectos (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

Estos microorganismos tienen mecanismos de acción que los hacen únicos, ya que, no necesitan ser ingeridos por el insecto para infectarlo, esto debido a que lo infectan por contacto o adhesión de las esporas a la cutícula del insecto, y ahí es cuando inicia el proceso infectivo patógeno-hospedero formando las estructuras de anclaje, para después colonizarlo (Asaff y col., 2002; Motta y Murcia, 2011). La infección del insecto ocurre al entrar en contacto con el hongo al transitar por sustratos que este ha colonizado (Figura 5), ya sea, agua, suelo o partes aéreas de la planta y se da gracias a fuerzas hidrófobas, debido a proteínas ricas en cisteínas llamadas hidrofobinas (Espinell y col., 2018).

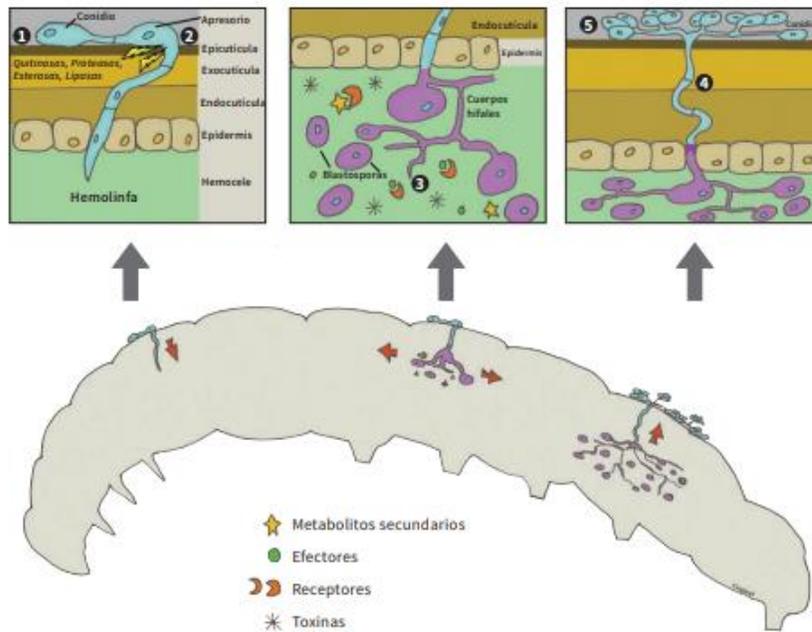


Figura 5. Esquema de infección de los hongos entomopatógenos. Fuente: Espinel y col., 2018.

El ciclo de vida de los hongos entomopatógenos comienza con la germinación y penetración del insecto huésped a través de la cutícula, dentro de este proceso habrá factores que determinen el éxito de la germinación como son: porcentaje de humedad, nutrientes de la superficie, temperatura y estado fisiológico (Espinel y col., 2018); seguido habrá un rápido crecimiento de las células fúngicas las cuales se proliferan en todo el insecto y por último terminará con la muerte del mismo y la producción de esporas para su siguiente ciclo. Dentro de este proceso los insectos también pueden contaminar otros insectos mediante contacto directo (copulación) o contacto indirecto (acercamiento) lo cual es denominado autodiseminación de hongos entomopatógenos (León y Campos, 2019).

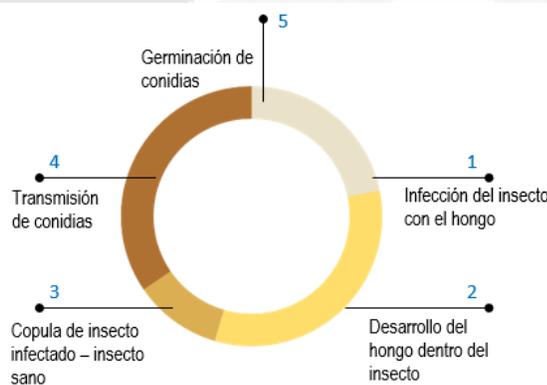


Figura 6. Diagrama del ciclo de autodiseminación de hongos entomopatógenos.

Dentro de los hongos entomopatógenos, se encuentran los hifomicetos los cuales se caracterizan por formar micelio que originan esporas denominadas conidios a partir de celular especializadas llamadas conidiógenas. De acuerdo con Bignell y col. (2012) los hongos de mayor interés son: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride*, *Nomuraea rileyi*, *Lecanicillium lecanii*, *Hirsutella thompsonii*, *Aschersonia aleyrodii*, *Paecilomyces spp.*, *Cordiceps spp.*, y hongos del orden Entomophthorales (*Zoopphthora*, *Entomophthora*, *Entomophaga*, *Neozygites*). Presentan un amplio rango de insectos hospedantes que incluyen áfidos, moscas blancas, trips, termitas, langostas, coleópteros, lepidópteros, dípteros, himenópteros, etc. (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

Etapas de la infección de hongos entomopatógenos

a) Adhesión

Este es el primer paso para la infección del insecto huésped, y consiste en la unión de la conidia con la cutícula del insecto. Las propiedades hidrofóbicas de las conidias son las causantes de la adhesión, mediado por la presencia de moléculas llamadas adhesinas. Este proceso ocurre en 3 etapas sucesivas que son adhesión, germinación y penetración (Téllez, 2009).

b) Germinación

Inicia cuando las conidias que están en contacto con la cutícula del insecto huésped presentan condiciones favorables de temperatura, humedad y requerimientos nutricionales para la formación de tubos germinativos. Algunos insectos tienen sistemas de defensa en su cutícula que actúa como fungo lítica o fungistática, o actuando como barrera evitando el contacto con los nutrientes y así evitar la señal de germinación (Pucheta y col., 2006).

c) Penetración

El hongo penetra la cutícula mediante una acción combinada de dos procesos: físico debido a la presión de la hifa que rompe las áreas membranosas y químico resultante de la secreción de enzimas. Otro mecanismo que utilizan es a través de la cavidad bucal, espiráculos y otras aberturas externas del insecto (Téllez, 2009).

d) Multiplicación del hongo en el hemocele, producción de toxinas y muerte del insecto

El hongo se multiplica dentro del insecto por medio de cuerpos hifales, llamados blastosporas, que son estructuras que pierden la pared celular, pero tienen una delgada capa fibrilar en la membrana plasmática (Albuquerque y Albuquerque, 2009). Esta micosis induce a síntomas fisiológicos anormales en el insecto tales como convulsiones, falta de

coordinación, comportamientos alterados y parálisis (Téllez, 2009), el tiempo de muerte dependerá del hongo entomopatógeno, del insecto hospedador y de los factores ambientales (Schapovaloff, 2012).

La producción de toxinas es una característica de la gran mayoría de los hongos entomopatógenos, estas sustancias pueden en muchos casos originar la muerte del insecto debido a sus propiedades biocidas, además actúan como inhibidores de las reacciones de defensa del hospedante por alteraciones en los hemocitos y retraso en la agregación de las células de la hemolinfa (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

e) Colonización total, emersión del hongo y dispersión de esporas

Después de la muerte del insecto el hongo invade todos los tejidos y órganos internos, por lo que se da la colonización total del hospedante, cuando las condiciones son favorables, las hifas logran atravesar el tegumento del insecto, logrando la emergencia del hongo al exterior, para esto se requiere de condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa. Las hifas presentes en el exterior del insecto producirán esporas dentro de las 24 a 48 horas (Schapovaloff, 2012).

f) Diseminación

La dispersión de las conidias es pasiva y su diseminación depende de la acción del viento, agua, hombre u otros organismos (Albuquerque y Albuquerque, 2009), y cuando estos tienen contacto con otro insecto comienza nuevamente el ciclo de infección (Schapovaloff, 2012).

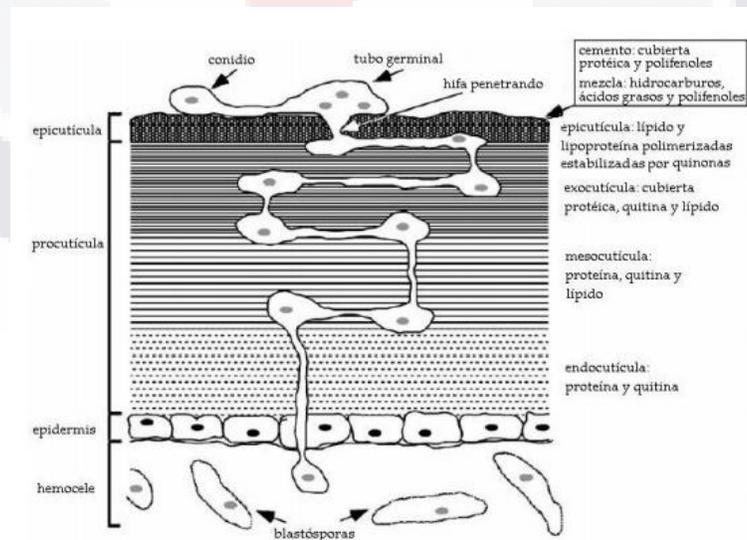


Figura 7. Estructura y composición de la cutícula del insecto y esquema de la penetración. Fuente: Schapovaloff, 2012.

3.5.2 Sistema de defensa de los insectos

Los insectos presentan dos tipos de defensa contra los hongos entomopatógenos las cuales se han clasificado como barreras fisicoquímicas y sistema inmune innato (Schapovaloff, 2012).

La cutícula de los insectos es la primera barrera de defensa al ser una estructura rígida que recubre la parte externa del insecto, está conformada en su mayoría de quitina y proteínas estructurales que proporcionan rigidez (Téllez, 2010).

Por otra parte, el sistema inmune innato está conformado por el sistema celular y el sistema humoral, capaz de reaccionar ante la inacción de patógenos. El sistema humoral utiliza proteínas antibióticas y otras moléculas que circulan en el hemocele con la finalidad de eliminar agentes patógenos, mientras que el sistema celular está compuesto por hemocitos que circulan en el hemocele y son capaces de reconocer elementos extraños y a su vez activan la producción de péptidos antimicrobianos (Téllez, 2010).

3.5.3 *Beauveria bassiana*

Beauveria bassiana es un hongo que naturalmente se encuentra en el suelo y afecta gran variedad de insectos, sobre todo del Orden coleóptera. Sus primeros registros como agente infeccioso datan de 1835, año en que se descubrió al causar la muerte del gusano de seda (Suarez Núñez, 2014). Pertenece a la familia Clavicipitaceae y su reproducción es mediante conidiósporas, tiene una apariencia que se caracteriza por un micelio color blanco, algodonoso y conidio globoso, además por la producción de toxinas: bassianina, beauvericina, bassianolide, beauverolides y tenellina (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

Es un hongo deuteromicetes, el cual forma una estructura algodonosa y polvosa de color blanco conocida como muscardina blanca, cuando la colonia envejece se vuelve blanca amarillenta con el centro color rojizo, microscópicamente se observa micelio septado, conidióforos de 1-2 μM de diámetro y esporas redondas y ovaladas de 2-3 micras (Hernán-Chiriboga, 2005).

B. bassiana se considera como uno de los hongos entomopatógenos con mayor eficiencia en el sector agrícola, ya que tiene la capacidad de infectar gran diversidad de insectos con una alta mortalidad.

Actualmente se ha experimentado con amplia diversidad de técnicas de aplicación del hongo sobre el insecto plaga y se ha determinado el comportamiento del hongo en invernadero y en campo abierto, siendo más eficaz en la primera (Suarez, 2009).

3.5.4 *Metarhizium anisopliae*

Este hongo fue usado para el control de insectos por Elie Metchnikoff a partir de 1879, ya que producía artificialmente esporas del hongo y realizaba los primeros ensayos de campo para su empleo en el control del Escarabeido *Anisoplia austriaca*. Se caracteriza por producción de toxinas: destruxinas (más de 27 tipos), swainsinona y citocalasina C (Albuquerque y Albuquerque, 2009).

Es un hongo filamentoso caracterizado y utilizado ampliamente en el control de insectos plaga, siendo de los más comunes que se han encontrado y estudiado en todo el mundo como control biológico, en insectos como termitas (Isóptera), langostas (*Locusta migratoria* L.), salivazos (*Aeneolamia* spp. F., *Prosapia* spp. F., *Nilaparvata lugens* Stål), escarabajos (*Adoryphorus couloni* B., *Antitrogus parvulus* Britton, *Aphodius tasmaniae* Hope, *Oryctes rhinocerus* L.), gusano barrenador (*Diatraea saccharalis* F.) y para el control de los mosquitos vectores de la malaria, incluyendo sus estados larvales (Hernández y col., 2019).

Este hongo presenta hifas cenocíticas, lisas, con conidias de diferentes matices que van desde verde oliva hasta oscuro, las conidias presentan extremos redondeados, agrupadas en cadenas regulares debido a la agregación por elongación de estas conidias. Tiene un crecimiento circular con aspecto algodonoso de textura variable y superficie plana (García, 2008).

3.6 AUTODISEMINACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

La autodiseminación es una técnica la cual se basa en la infección de insectos adultos de la misma especie mediante los mismos insectos, y la cual ha tenido resultados muy favorables. Ya que el hongo se transmite por contacto directo (copulación) o contacto indirecto (León y col., 2019).

Diversos estudios han demostrado su alta eficacia sobre el control de insectos plaga de distintas especies:

García Munguía y col.(2011), realizaron un estudio donde evaluaron la transmisión de *Beauveria bassiana* sobre mosquitos *Aedes aegypti* macho a hembras de la misma especie, teniendo un alcance de entre 78 % a 90 % de hembras en 15 días después de ser confinadas con los machos que fueron expuestos al hongo.

Otro estudio realizado por Reyes y col., (2011) evaluaron las tasas de mortalidad, infección, inseminación y fecundidad en hembras de *A. aegypti*, por el mecanismo de autodiseminación con 2 cepas mexicanas de *M. anisopliae*, donde obtuvieron un alto porcentaje de infección y disminución en la fecundidad.

De la misma manera un estudio en *Anopheles arabiensi* demostraron la supresión efectiva de poblaciones estables de vectores de malaria utilizando una pequeña cantidad de dispositivos simples de auto diseminación, desde los cuales los mosquitos adultos propagan piriproxifeno para contaminar hábitats acuáticos en el sistema. Esta fue la primera prueba de que la auto diseminación puede amplificar la cobertura del tratamiento y agotar las poblaciones de vectores de malaria.

El uso de feromonas ha resultado una técnica útil para la atracción de insectos a trampas con hongos entomopatógenos y así aumentar la efectividad de estos. Varios estudios documentaron el potencial de la técnica de auto diseminación, y en México hay estudios pioneros en urbanos y plagas agrícolas, pero solo con el gusano del ejército de otoño se ha integrado la feromona sexual (Gutiérrez y col., 2018).



3.7 CIENCIA DE DATOS

La ciencia de datos es una disciplina relativamente nueva la cual tiene un gran potencial en las áreas que se aplica. En la actualidad todas las personas que usamos internet somos generadores de datos y así mismo algunos se vuelven minadores de estos datos, con la finalidad de darle un valor agregado a esta información, lo que lo convierte en un científico de datos.

En ciencia de datos, hay un modelo llamado pirámide del conocimiento la cual se usa ampliamente para representar las relaciones entre datos, información y conocimiento (Rowley, 2007; Zins, 2007). Hoy en día, debido a la enorme cantidad de datos que se están produciendo a un ritmo sin precedentes, estos datos no se procesan de manera efectiva en información, lo que retrasa la extracción y producción de conocimiento. Por lo tanto, nuestra sociedad se enfrenta a problemas aún más desafiantes en la transformación de datos en información y / o conocimiento. Extraer valor de los datos brutos necesita un sistema sistemático y bien definido por lo que ha llegado la era del Big Data. Big Data nos trae el paradigma basado en datos y nos ilumina para desafiar nuevas clases de problemas que no pudimos resolver en el pasado. Para resolver estos problemas emergentes de macrodatos del mundo real, se necesita un nuevo estudio multidisciplinario (Song y Zhu, 2015).

Los datos, las tecnologías y las personas son los tres pilares de la ciencia de datos, y es obvio que estos tres componentes no están en la misma magnitud en este momento. Hay un fuerte indicio de una escasez de personas que puedan pensar críticamente sobre los problemas de big data y que posean las habilidades y el conocimiento necesarios para resolver problemas de big data utilizando tecnologías de big data. La educación debe desempeñar su función de dotar a las personas de los conocimientos y tecnologías adecuados (Mendoza, 2018).

Al observar de cerca la educación en big data y ciencia de datos, deberíamos intentar llenar la brecha entre datos, tecnologías y personas y construir un ecosistema eficiente de big data donde las personas puedan resolver adecuadamente los problemas con las tecnologías adecuadas.

Un informe de una investigación afirma que se espera que el mercado global de big data crezca a \$ 46,000,000,000 (Markets y Markets, 2013). También se sabe que el 90% de los datos del mundo actual se han creado solo en los dos últimos años. Pero lo que es más desafiante es que muchas empresas e instituciones de educación no han explotado con éxito los macrodatos. Es por eso por lo que poder explotar la información generada de investigaciones agrícolas permitirá expandir en gran medida el conocimiento actual de esta disciplina (Song y Zhu, 2015).

Actualmente hay miles de investigadores alrededor del mundo generando información acerca de estudios similares, con variables distintas que permiten expandir esos datos. Lo que me ha llevado pensar en la generación de bases de datos científicas para los diversos estudios y técnicas mediante un mecanismo sistemático, con información detallada de las variables de interés (Mendoza, 2018).

Los conceptos que se asocian al procesamiento de la información son los siguientes:

3.7.1 Big Data

Es una materia primordial para en la investigación e innovación, usa grandes cantidades de datos estructurados y no estructurados, y cuenta con el potencial para extraer y procesar información. Es una de las tendencias más importantes en tecnología, investigación y desarrollo debido al alto impacto en cuestiones económicas, sociales y científicas (Guerra, 2016).

3.7.2 Minería de datos

Se comprende como el proceso de revelar conocimientos, tales como patrones, agrupaciones, cambios, incoherencias y estructuras significativas a partir de grandes cantidades de información almacenadas en sistemas computacionales. La aplicación de minería de datos demanda de actividades previas consignadas a la preparación de los datos de manera uniforme (Mendoza, 2018).

3.7.3 Ciencia de datos

Es el uso de información como evidencia para acertar en lo mayor posible en la toma de decisiones. Su base se centra en la estadística ya que utiliza conjunto de datos numéricos los cuales son usados para obtener inferencias basadas en el cálculo de probabilidades. Es la ciencia encargada de analizar, entender, modelar, visualizar y extraer conocimiento a partir de información detallada (Escuela de datos, 2017).

3.7.4 Científico de datos

Es una persona la cual construye sistemas que se encargan encontrar patrones reconocibles en una secuencia datos, esto mediante el desarrollo de modelos matemáticos que intentan entender y explicar la información (Guerra, 2016).



Figura 8. Flujo de trabajo del científico de datos. Fuente: Mendoza, 2018

Hoy en día el uso de un computador en la labor diaria de un profesional de las ciencias biológicas se ha convertido en una herramienta clave. El uso de diversos softwares se ha hecho cada vez más común para llevar a cabo diversas tareas para el uso y análisis de la información, como el uso de bases de datos creadas con información de diversos tipos la cual puede ser consultada acorde al interés del investigador (Arcila, 2006).

Dentro de las disciplinas que se encuentra la informática, la estadística y las ciencias biológicas unidas son:

3.7.5 Bioinformática

La bioinformática es una ciencia que surge con la necesidad de interpretar la información contenida en secuencias de ADN y proteínas (Martínez, 2007). Se basa en la investigación y desarrollo de la infraestructura y sistemas de información y comunicaciones que requiere la biología molecular y la genética, la cual mediante el uso de matemáticas y de las técnicas informáticas resuelve problemas biológicos (Arcila, 2006).

En otras palabras, la bioinformática es una ciencia de naturaleza interdisciplinaria, la cual se divide en dos épocas; la primera cuando se secuenció por primera vez una proteína completa “la insulina”

por Frederick Sanger y sus colaboradores. Posteriormente se desarrollaron métodos de secuenciación más sofisticados mediante el uso de sistemas computacionales (Franco y col., 2008).

Desde los años ochenta se comenzaba con la bioinformática, pero su campo de acción estaba limitado debido a la infraestructura computacional con la que se contaba en la época, el primer impulso que tuvo fue con la generación de bases de datos primarios, como GenBank. A inicios de los noventa se formularon nuevos enfoques para adentrarse en la complejidad de la biología molecular. Otro impulsor que tuvo fue la disponibilidad de internet y la interconectividad resultante entre centros de investigación, bases de datos públicas y la comunidad científica (Martínez, 2007).

3.7.5 Biología computacional

Es la ciencia de la computación que se aplica al entendimiento de cuestiones biológicas y ciencias básicas, en sus distintos niveles de organización, mediante la modelización y simulación (Arcila, 2006).

En la actualidad en todas las carreras de aplicación científica coexisten dos orientaciones: una matemática y una descriptiva (en este caso la biología). La biología computacional se logra mediante la programación informática y el modelado de problemas biológicos, lo cual permite integrar los conocimientos matemáticos con problemas biológicos (Carvajal, 2015).

3.7.6 Biocomputación

Es el desarrollo y uso de sistemas computacionales basado en modelos y materiales biológicos (biochips, biosensores, computación basada en ADN, redes neuronales, algoritmos genéticos y de interacciones biológicas) para el entendimiento de la biología (Arcila, 2006).

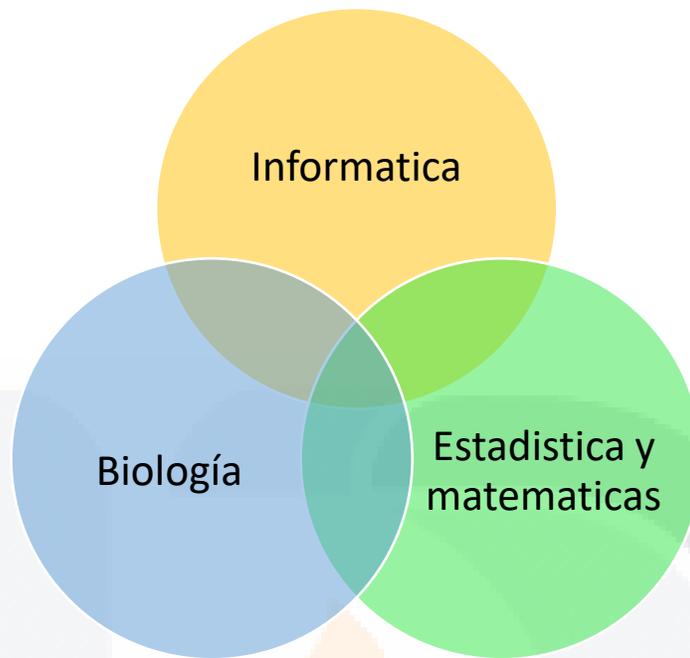


Figura 9. Conjunto de disciplinas aplicadas a la ciencia de datos biológicos. Fuente: Fellman, 2018.

El paquete R es un ambiente para el procesamiento de datos, cálculos y graficas. Un gran número de investigadores de diversas áreas hace uso de esta plataforma debido a que se distribuye gratuitamente, se encuentra disponible en los sistemas operativos más comunes, permite manejar y almacenar grandes conjuntos de datos, tiene gran flexibilidad para importar y exportar datos, tiene una amplia gama de herramientas para análisis estadístico y creación de gráficos, entre otras (Gómez y col., 2010).

El uso de estas herramientas en la investigación de autodiseminación de hongos entomopatógenos servirá para determinar el modelo de regresión lineal múltiple adecuado para extrapolar los posibles efectos que tendrá los hongos en las diversas plagas que afectan los cultivos y determinar la eficiencia de su uso.

4.MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, campus Posta Zootécnica, Jesús María, Ags; en el laboratorio de fitopatología y en el área de invernadero de actividad docente en el periodo enero – diciembre 2019- 2020.

4.1 AISLAMIENTO Y EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS DE MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA RECOLECTADAS EN AGUASCALIENTES.

4.1.1 REPRODUCCIÓN DEL INSECTO CEBO *Tenebrio molitor*

Larvas pertenecientes a la especie *Tenebrio molitor* se obtuvieron de cepas comerciales (marzo, 2019) adquiridas de Aguascalientes. Su propagación se realizó mediante el uso de una cámara oscura circular con capacidad de 1 litro. Se alimentaron con harina, trozos de papa y zanahoria (Mondragón y Contreras, 2007). Se realizó el cambio de alimento y limpieza de la cama oscura con jabón y cloro al 1.5% cada 15 días, esto con el fin de evitar el crecimiento de agentes patógenos. Las larvas se mantuvieron en reproducción hasta obtener los hongos entomopatógenos aislados de muestras de suelo lo cual fue por un mes.

4.1.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Las muestras fueron obtenidas de la colección del centro de Ciencias Agropecuarias del departamento de Ciencias Agronómicas, el suelo se encontraba en bolsas de plástico transparentes (20 x 25 cm) y etiquetada. Se le asignó un código con una letra y un número distinta a cada muestra y se almacenó a temperatura ambiente con humedad superior al 50 por ciento.

4.1.3 DISEMINACIÓN Y AISLAMIENTO DEL HONGO ENTOMOPATÓGENO EN EL INSECTO CEBO

Se procedió a realizar la obtención de los hongos; primeramente, el suelo fue puesto en recipientes plásticos con capacidad de 3 litros y se mantuvo con humedad relativa del 50% en condiciones de oscuridad. Se añadieron cinco insectos cebo (*Tenebrio molitor*) a cada recipiente donde se encontraba cada una de las muestras de suelo. Se monitoreó diariamente el estado de los insectos y se retiraban aquellos insectos que iban muriendo. Los insectos muertos se colocaron en cámaras

húmedas y se incubaron por 10 días para determinar la presencia o ausencia de crecimiento fúngico. Los insectos con crecimiento fúngico fueron usados para aislar el hongo. Se tomaron pequeñas hifas del hongo con ayuda de una aguja de disección y se colocó en medio PDA + extracto de levadura 1 %. Se incubaron por una semana y posteriormente se determinó la especie de hongo presente mediante su morfología macroscópica y microscópica.

4.1.1 IDENTIFICACION DEL HONGO

Se tomaron porciones de hifas de los medios de cultivos obtenidos a partir de las muestras de suelo, con ayuda de un bisturí, se realizó un corte de 1 cm² y se colocó en tubos de ensaye de 10 mL con agua destilada estéril, se agitaron durante 15 segundos y posteriormente se añadió esta mezcla a un medio de cultivo nuevo (Garcia Munguia, 2011).

Para su identificación, se hicieron montajes los cuales fueron analizados mediante el uso de microscopio óptico con el campo 40 X. Los montajes se prepararon mediante el uso de lactofenol al 50%, colocando una gota sobre el portaobjetos y posteriormente colocando una pequeña porción del micelio con ayuda de una aguja de disección, se colocó un cubreobjetos y prosiguió su observación. Se analizaron las características tales como: color, forma de la colonia, forma y color de estructuras morfológicas (Garcia Munguia, 2011) y se compararon con las claves taxonómicas propuestas por Domsch y col. (1993) y la caracterización microscópica y macroscópica se consideraron los criterios propuestos por Mier y col., (2002).

4.1.5 EVALUACIÓN DE LAS CEPAS DE HONGOS ENTOMOPATOGENOS AISLADOS

El bioensayo consistió en 9 tratamientos, 8 cepas aisladas y un testigo sin inocular, con 3 repeticiones por tratamiento. Los medios de cultivo con las distintas cepas de hongos entomopatógenos fueron utilizados para infectar al insecto plaga *Bactericera cockerelli*; se introdujeron 7 adultos de aproximadamente 5 días de edad los cuales permanecieron en contacto con las esporas por un periodo de 24 h bajo fotoperiodo 16:8 (luz: oscuridad). Transcurrido el tiempo de exposición los insectos infectados fueron transferidos a recipientes cilíndricos estériles, donde se les proporcionó una solución de sacarosa al 10 % (García Munguía, 2011).

La mortalidad se registró diariamente y se retiraron los insectos conforme murieron con la ayuda de pinzas estériles y se colocaron en cajas Petri con medio PDA + extracto de levadura 1%. Las cajas se sellaron e incubaron a temperatura ambiente por una semana. Se cuantifico el total de insectos con crecimiento fúngico y el tiempo de muerte (días).

Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA y comparación de medias Tukey $\alpha = 0.01$.

4.2 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS MEDIANTE AUTODISEMINACIÓN EN *BACTERICERA COCKERELLI* EN JITOMATE.

4.2.1 REPRODUCCIÓN DE CRÍAS DE *Bactericera cockerelli*

Se recolectaron muestras de adultos de *Bactericera cockerelli* en plantaciones de jitomate y chile presentes en invernaderos del estado de Aguascalientes, mediante el uso de recipientes de cristal con capacidad de 1 litro, los cuales presentaban una modificación en la tapa; con una perforación de 3 x 3 cm sellada con malla tul fina. Los especímenes recolectados se trasladaron al laboratorio y colocados en cámaras de reproducción, de 33 x 33 x 33 cm, recubiertas con malla tul fina. En su interior se colocaron plántulas de jitomate y chile para alimentar y estimular la reproducción de *Bactericera cockerelli*. Las plántulas se cambiaron cada 15 días para mantener la fuente de alimento en buen estado.

Cuando se tuvieron ninfas, las plántulas de jitomate y chile fueron retiradas de las jaulas y se colocaron en una nueva jaula con el fin de aislarlas de los adultos. Esto con el fin de conocer la edad en días de los adultos generados. Las crías fueron mantenidas por 21 días, hasta la realización del experimento siguiente.

4.2.2 CAPACIDAD DE AUTODISEMINACIÓN DE LAS CEPAS DE MAYOR Y MENOR VIRULENCIA MEDIANTE INSECTOS ADULTO MACHO A HEMBRAS

Una cantidad determinada de hembras adulto-sanas fueron colocadas en recipientes cilíndricos con plántulas de jitomate de 30 días de edad. Inmediatamente adultos macho de *Bactericera cockerelli* fueron infectados con esporas de la cepa M4 y M8 mediante el contacto directo con el medio de cultivo, se mantuvieron por 24 h y posteriormente fueron puestos en los recipientes con las hembras sanas. Se realizaron bioensayos con diferentes proporciones de machos infectados / hembras adulto-sanas: 1:5 y 1:10 para cada cepa, con 3 repeticiones por tratamiento, se tuvo un testigo sin

infectar para cada proporción. Se mantuvieron a temperatura ambiente con un fotoperiodo 16:8 h (luz: oscuridad).

Los insectos se revisaron diariamente durante 16 días y se registró la mortalidad diaria. Los cadáveres fueron guardados en cajas Petri. Donde posteriormente fueron colocados en medio PDA + 1 % extracto de levadura y se cuantificó el número de insectos con crecimiento micelial.

En cada bioensayo también se registró el número de huevos colocados por cada hembra y se continuó evaluando el número de huevos que eclosionaron, la cantidad de ninfas que se obtuvieron y el número de adultos que logró sobrevivir para cada tratamiento. Así mismo en cada etapa del insecto se evaluó la presencia de crecimiento fúngico colocándolo en medio PDA.

Los insectos se revisaron diariamente y se registró la mortalidad. Los individuos muertos fueron colocados en cajas Petri. Posterior a este procedimiento se colocaron en medio PDA + 1% extracto de levadura y se cuantificó el número de insectos con crecimiento micelial.

Los resultados (porcentaje de insectos con crecimiento fúngico y tiempo de muerte en días) fueron analizados mediante un ANOVA y separación de medias Tukey $\alpha = 0.05$. Además, se realizó un análisis Probit $\alpha = 0.05$.

4.3 DISEÑO DE BASE DE DATOS Y ANALISIS DE DATOS

A partir de información obtenida de investigaciones realizadas acerca de autodeseminación de hongos entomopatógenos en diversos insectos se logró construir una base de datos tomando en cuenta diversas variables tales como: especie de hongo, cepa, insecto blanco, tiempo del ciclo de vida del insecto, tiempo del insecto adulto, tipo de transmisión (macho a hembra o hembra a macho), total de insectos infectados, total de insectos sanos, proporción insecto infectado/ insecto sano, tiempo de exposición del insecto infectado con insecto sano, porcentaje de insectos infectados, tiempo de vida de los insectos infectados y tiempo de vida de los insectos sanos (control).

La información obtenida se analizó mediante una regresión lineal ajustada tomando como predictores continuos: tiempo del ciclo de vida del insecto, tiempo del insecto adulto, total de insectos infectados, total de insectos sanos, proporción de insecto infectado/ insecto sano y tiempo de exposición del insecto infectado con insecto sano, y como predictores categóricos: especie de hongo, cepa, insecto blanco y tipo de transmisión, por otra parte las respuestas fueron tiempo de vida de los insectos infectados y sanos (control) y porcentaje de insectos infectados.

El modelo se analizó mediante la colinealidad de los datos y se hizo un ajuste tomando en cuenta el estadístico Cp de Mallow y r^2 ajustado, con la finalidad de obtener el modelo de regresión lineal múltiple más acorde a la predicción de la respuesta de los hongos entomopatógenos transmitidos por autodiseminación de insectos macho a hembras.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el Anexo 1 se observan las fotografías de los hongos aislados. De 35 muestras de suelo recolectadas de distintas zonas del estado de Aguascalientes, se lograron aislar 8 hongos entomopatógenos, 7 cepas blancas algodonosas pertenecientes a la especie *Beauveria bassiana* Castillo y col. (2012) ha descrito que este hongo en medio de cultivo presenta un desarrollo alzado de color blanco, el cual se torna a coloraciones amarillentas cuando el hongo en la placa es viejo; además se obtuvo una café verdosa pertenecientes a *Metarhizium anisopliae*, García y col., (2011) describe que tiene aspecto algodonoso con textura variable, la coloración de la colonia en tonos color verde oliva a tonalidades verde oscuro debido esto debido a la maduración de los conidios.

En la figura 10 se observa la mortalidad diaria acumulada de *Bactericera cockerelli* la cual fue expuesta a contacto directo con el hongo. Las ocho cepas fueron evaluadas mediante el tiempo promedio en el cual se logró el 100 % de mortalidad y el porcentaje promedio de insectos con crecimiento fúngico de *Bactericera cockerelli*.

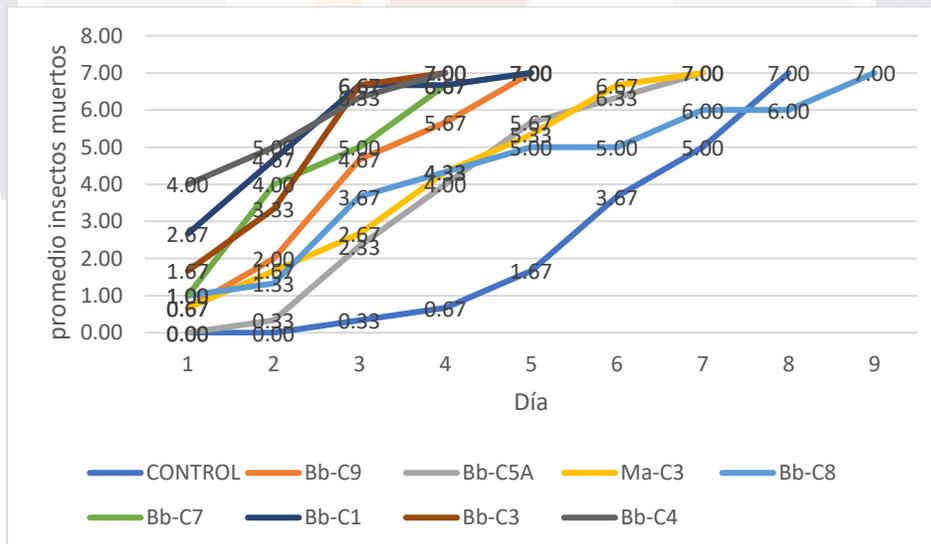


Figura 10. Mortalidad diaria promedio para los 9 tratamientos expuestos al hongo entomopatógeno. Bb representa *Beauveria bassiana* y Ma *Metarhizium anisopliae*. La numeración es el código asignado a cada cepa.

Todas las cepas de hongos mostraron diferencias significativas respecto al control ($p < 0.0001$, $\alpha = 0.05$) para el día promedio en que se logró el 100 % de mortalidad (Figura 11), para el control se tuvo el 100% de mortalidad el día 6.38, mientras que para las cepas de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* varió de 1.81 a 4.33 días, mostrando una diferencia de 2.04 días para la cepa que obtuvo el mayor tiempo de acción (Bb-C5) y 4.57 días para la cepa con el menor tiempo de acción (Bb-C4), por otra parte, las todas las cepas a excepción de la Bb-C9 y Bb-C1 mostraron diferencias significativas en el porcentaje de esporulación respecto al control ($p < 0.05$, $\alpha = 0.05$), en el control se obtuvo un 0% de crecimiento fúngico, y en las 8 cepas se presentó crecimiento fúngico el cual varió de 38.10% en la cepa Bb-C9 a 100 % para la cepa Bb-C4 (Figura 12). El aislamiento y uso de cepas nativas de hongos entomopatógenos ha tomado gran importancia debido a que se encuentran adaptadas a las condiciones naturales locales (Villegas y col., 2017), debido a esto existen variaciones entre las cepas de acuerdo con el lugar donde se recolectó y al insecto que ataca naturalmente. Con los resultados obtenidos se seleccionó la cepa de menor y mayor virulencia. Montesinos y col., (2011) mencionan que el proceso de patogénesis es multivariable, algunas características se relacionan positivamente con la virulencia para las relaciones hongo-hospedero, por lo que se determinó la cepa de mayor virulencia aquella donde el proceso de patogénesis fue más rápido y viceversa para el de menor virulencia, tomando en cuenta aquellas con los porcentajes de infección más altos (porcentaje de crecimiento fúngico). En el anexo 2 se muestran las fotografías de los cadáveres puestos en medio PDA.

Día de mortalidad promedio por tratamiento

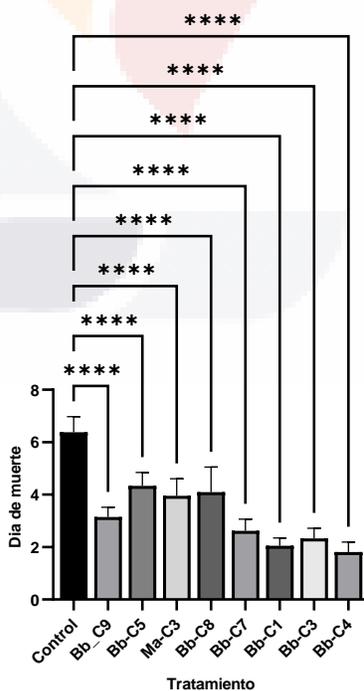


Figura 11. Día promedio en el cual murió el 100% de insectos. Ns (no muestra diferencias significativas), * (95 % confianza), **** (99.99 % confianza).

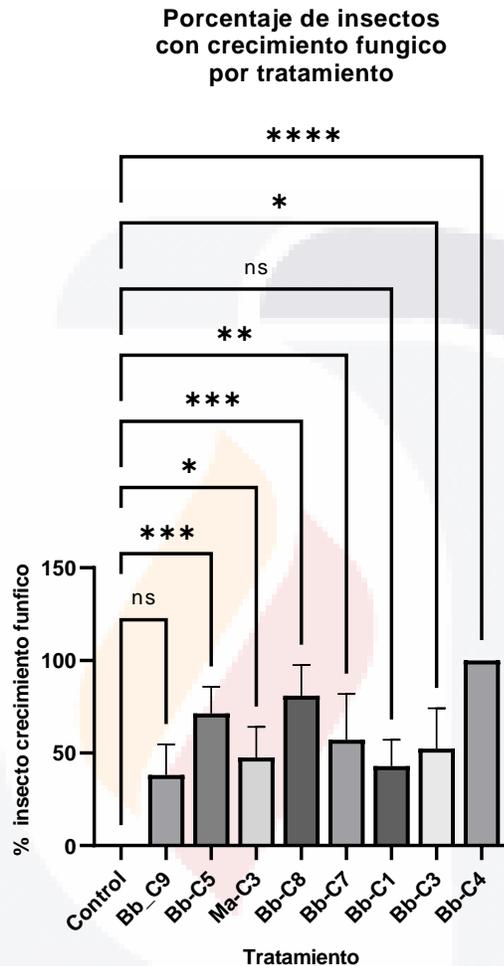


Figura 12. Porcentaje promedio de insectos con crecimiento fúngico. Ns (no muestra diferencias significativas), * (95% confianza), **** (99.99% confianza).

Hembras de *Bactericera cockerelli* fueron expuestas a insectos macho de la misma especie los cuales fueron infectados con *Beauveria bassiana*. De las cepas mencionadas en el bioensayo anterior se seleccionaron la Bb-C4 y Bb-C8. Estas cepas se utilizaron para evaluar la capacidad de autodiseminación de adultos macho a hembras adultas. Las hembras de *Bactericera cockerelli* fueron fácilmente infectadas por esporas de *B. bassiana* para los tratamientos Bb-C4 y Bb-C8 ($\chi^2 = 30.33$ df = 5, $P < 0.0001$). El tiempo letal medio (TL₅₀) varió de 5 a 12 días para los 6 tratamientos (Figura 13), estas variaciones de tiempo se deben a la variabilidad en los grados de virulencia de las

cepas la cual puede darse debido a variaciones genéticas derivadas de la especialización hacia un anfitrión determinado y la distribución geográfica de las mismas (Rodríguez, Gerding y France 2009). Estudios realizados por Rodríguez y col., (2009) reportan un periodo de mortalidad que va de 5 – 12 días para *B. bassiana* muy similar a lo obtenido a lo obtenido en los resultados del bioensayo. El TL₅₀ con el menor tiempo fue del tratamiento Bb-C4 1:5 en 5.5 días, mientras que el TL₅₀ más alto el del tratamiento Bb-C8 1:10 con 11.5 días. Se logra observar que entre menor densidad se tenga de hembras por macho infectado es menor el TL₅₀ para ambas cepas del hongo *B. bassiana*. Se ha reportado mortalidad de hembras *Bactericera cockerelli* que fueron expuestas a machos infectados con esporas de *B. bassiana*, el TL₅₀ muestra un menor tiempo en los 3 grupos (Control, Bb-C4 y Bb-C8) cuando la proporción de machos infectados / hembras sanas es más alta, esto ha sido reportado en estudios que evalúan el potencial de hongos entomopatógenos contra insectos (Suarez y col., 2017).

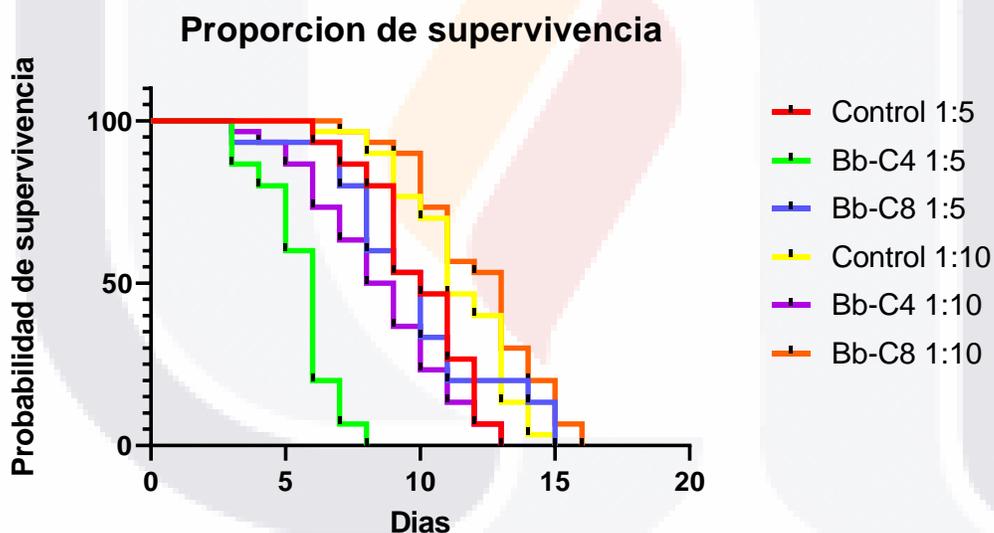


Figura 13. Proporción de supervivencia de las hembras de *Bactericera cockerelli* expuestas a un macho tratado.

El tiempo promedio en el cual el 100% de las hembras murió no mostró diferencias significativas para la cepa Bb-M8 contra el control, por otra parte, en la cepa Bb-M4 si se observan diferencias significativas contra el control. Jian y col., (2020) han descrito que los efectos letales de los hongos entomopatógenos transmitidos mediante autodiseminación dependen en gran medida de la determinación de la mortalidad obtenida por contacto directo, en el primero bioensayo donde se evaluaron las cepas se observó un tiempo más corto para la cepa Bb-M4, lo cual se sigue observando al infectar hembras de *Bactericera cockerelli* mediante autodiseminación.

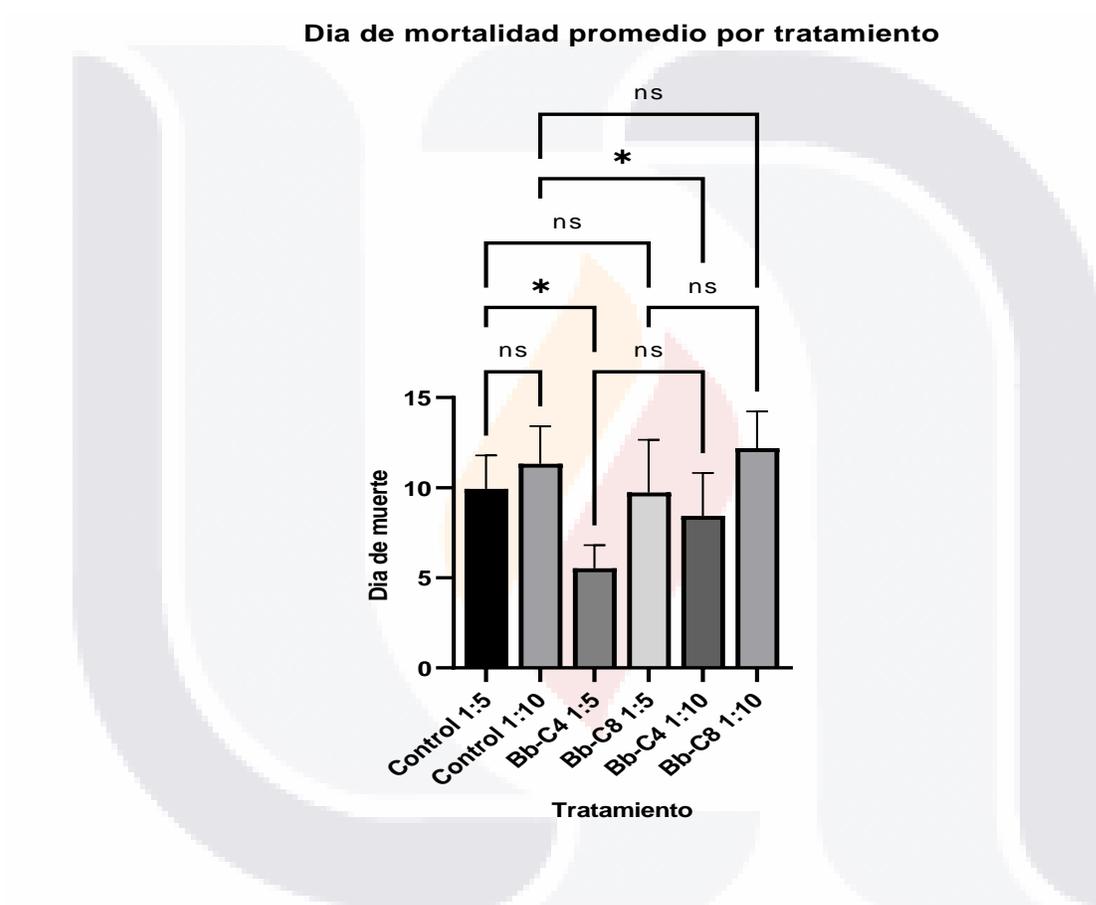


Figura 14. Se muestra el día promedio en el que se logró el 100 % de mortalidad. Ns (no muestra diferencias significativas), * (95% confianza), **** (99.99% confianza).

Ambas cepas mostraron una alta mortalidad para *Bactericera cockerelli* superior al 80%. La infección y muerte de *Bactericera cockerelli* por *Beauveria bassiana* ha sido reportada mostrando altas tasas de mortalidad de aproximadamente 95 % (Rosa y Horton 2009. Por otra parte, la capacidad de esporulación es fundamental debido a que permite la diseminación de la enfermedad entre la población, para ambos hongos Bb-C4 y Bb-C8 se observa una capacidad de esporulación que va del 80 al 95%, esto se ha visto en otras investigaciones donde evalúan la capacidad de autodiseminación de machos a hembras y reportan porcentajes que van desde el 73.3 % hasta el 100 % (León-Martínez, Campos-Pinzón y Arguelles-Cárdenas, 2019), por otra parte, un estudio hecho en *B. cockerelli* mostró un porcentaje de diseminación de 96.66 % (Suarez-Núñez y Cortez Madrigal, 2014), muy similar a lo obtenido con el hongo Bb-C4 la cual registró un 93.33% de diseminación.

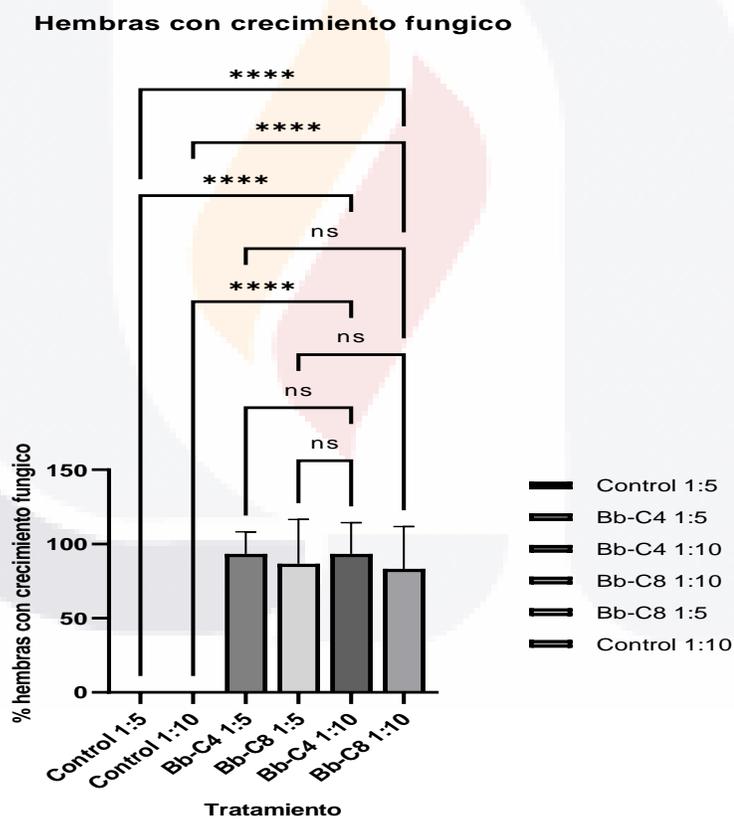


Figura 15. Muestra el porcentaje promedio de hembras con crecimiento fúngico. Ns (no muestra diferencias significativas), * (95 % confianza), **** (99.99 % confianza).

En la figura 16 se observan los promedios de huevos, ninfas y adultos que se generó en la F1 de las hembras *Bactericera cockerelli* expuestas a un macho infectado. La separación de medias para el conteo de huevos puestos por hembra con nivel de significancia $\alpha=0.05$ muestra una diferencia significativa entre los tratamientos con respecto al control, así mismo se ven diferencias significativas en las diferentes proporciones 1:5 vs 1:10, como en los dos hongos Bb-C4 vs Bb-C8.

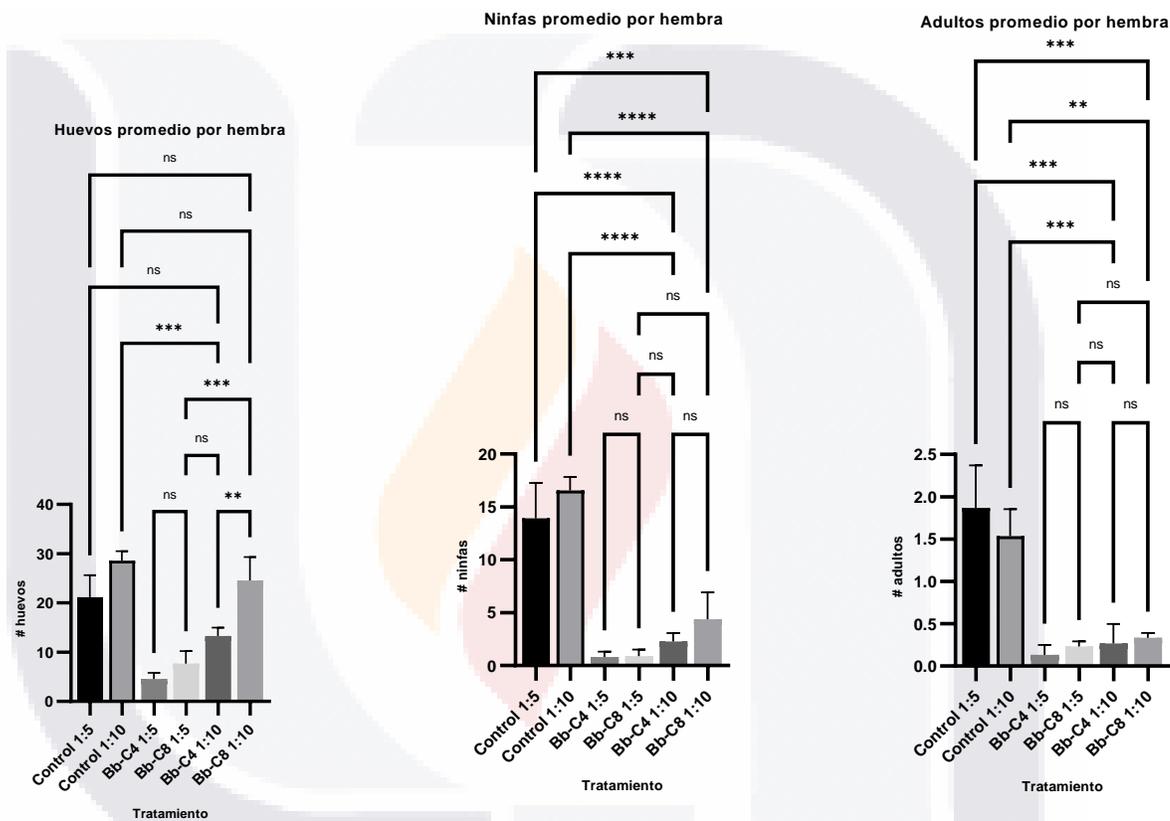


Figura 16. Cada grafica muestra el promedio de huevos, ninfas y adultos (F1) generados por cada hembra. ns (no hay diferencias significativas), * (95% de confianza), ** (99% de confianza), *** (99.9% de confianza), **** (99.99% de confianza).

En la figura 17 se observa la reducción en las distintas fases de *Bactericera cockerelli* expuestas a las cepas Bb-C4 y Bb-C8. Los tratamientos Bb-C4 y Bb-C8 mostraron una disminución en los huevecillos puestos por hembra infectada, la cepa Bb-M4 redujo un 75% el número de huevos puestos, mientras que la cepa Bb-M8 genero una reducción del 15 al 50%, así mismo en las ninfas se observó una mayor reducción teniendo de un 90 a 95% para el hongo Bb-C4 y del 70 al 87% para Bb-C8, mientras que para los adultos que sobrevivieron se vio una reducción del 75 al 95% para ambos grupos. Un estudio realizado por García-Munguía (2015) en el cual evalúa los hongos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en *Musca domestica*, observo una reducción del 66% de huevecillos y del 75% en larvas, así como reducción en su ciclo genotrófico. Jian y col., (2020) reportan que el tratamiento con *B. bassiana* puede afectar la reproducción y estos cambios se pueden expresar en la próxima generación.

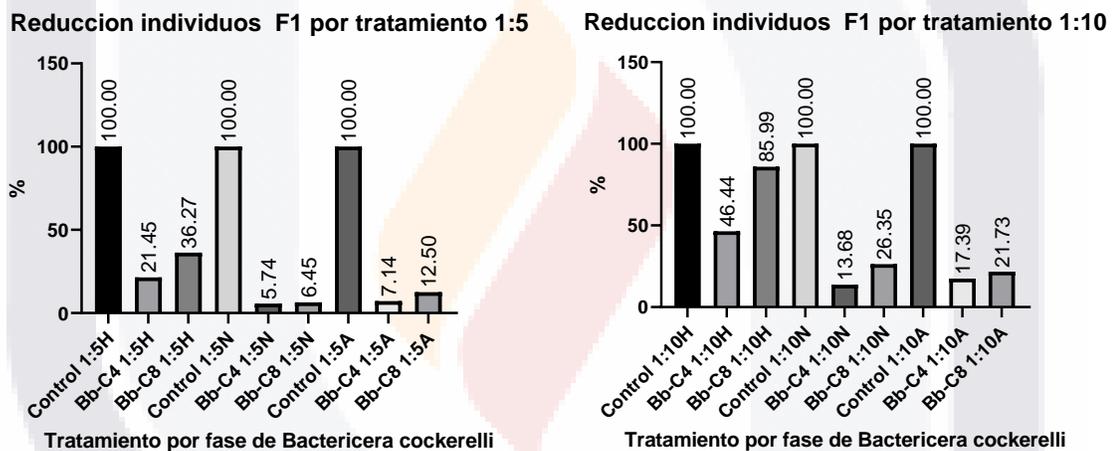


Figura 17, Cambios en porcentaje respecto al control para cada fase del ciclo de vida de *Bactericera cockerelli*. La letra al final de cada tratamiento indica la fase (H = huevo, N = ninfa y A = adulto), 1:5 y 1:10 indica la proporción macho infectado: hembras sanas.

En la figura 18 se observa el promedio de huevos con crecimiento fúngico. La tasa de huevos promedio con crecimiento fúngico mostró diferencias significativas ($\alpha = 0.05$, $p < 0.0001$) entre todos los tratamientos. Sánchez (2001) menciona que algunos patógenos como los hongos penetran la cutícula de los insectos teniendo la posibilidad de tener transmisión transovárica. Existe una serie de mecanismos que podrían conducir a la reducción de viabilidad reproductiva de *Bactericera cockerelli*, estos efectos pueden estar relacionados con el gran consumo de energía de las hembras ante la respuesta a la infección por el hongo y los metabolitos secundarios producidos (Wang y col., 2018). Las enzimas y toxinas que produce *B. bassiana* son causantes de cambios fisiológicos que rompen

con el equilibrio, por lo que disminuyen la eficiencia respiratoria, lo que conlleva a una reducción en la tasa de supervivencia y fecundidad de los huéspedes (Jarrahi y Safavi, 2016). Medeiros y col. (2009) menciona que estos efectos pueden influir en la ovogénesis e incluso afectar los huevos e influir en la descendencia.

Huevos promedio con crecimiento fungico

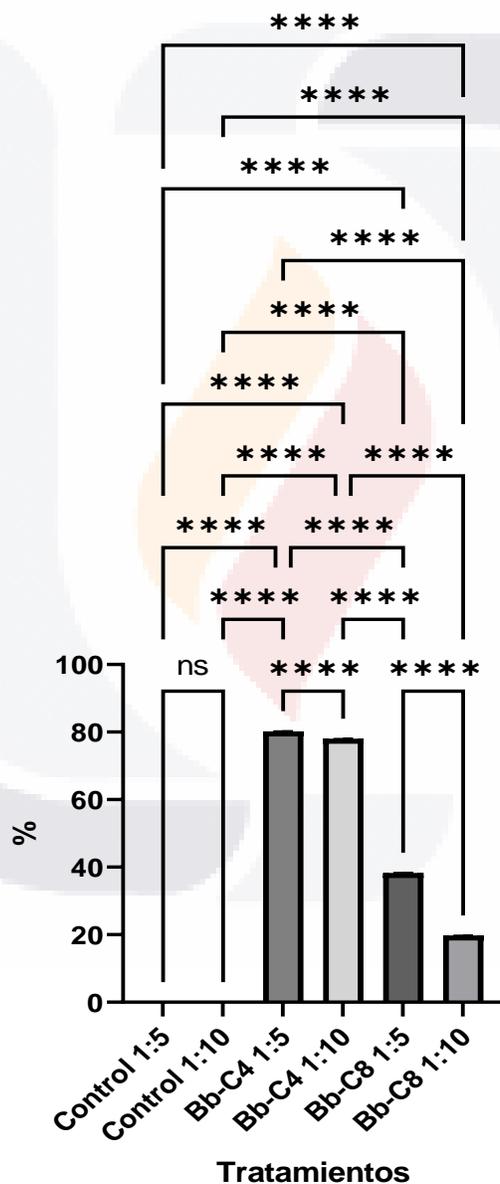


Figura 18. Promedio de huevos con crecimiento fúngico. ns (no hay diferencias significativas), **** (99.99% de confianza).

Con los resultados obtenidos y con la información obtenida acerca de otros estudios de autodiseminación de hongos entomopatógenos se logró calcular la respuesta del porcentaje de infección ($p < 0.0001$; $r^2 = 83.36\%$), tomando en cuenta las variables antes mencionadas, y mediante un análisis de Pareto (anexo 3) se logró identificar la medida en que estas variables influyen en el porcentaje de infección, siendo las de mayor relevancia la cantidad de insectos infectados, la cantidad de insectos sanos y la proporción insecto infectado/insecto sano. Esto está muy relacionado con los resultados obtenidos en donde a mayor proporción mayor porcentaje de infección. La creación de bases de datos con información específica respecto a un tema de interés se ha vuelto cada vez más importante, esto debido al creciente uso de herramientas para analizar datos con el fin de obtener una respuesta cuantitativa o cualitativa (López, 2012 y Mendoza, 2018). En ciencias biológicas se ha utilizado para el desarrollo de sistemas predictivos que nos permite poder anticiparnos ante posibles problemas o bien predecir una respuesta a cierto estímulo (López, 2012)

La predicción el tiempo de vida de los insectos expuestos al hongo no logro tener significancia ($p=0.7$, $r^2=91.69\%$), esto debido a la poca información en los estudios acerca del tiempo de vida promedio de los insectos afectados por la transmisión de los hongos entomopatógenos. Pero da pauta para la generación de una base de datos con criterios específicos acerca de la autodiseminación de hongos entomopatógenos donde los investigadores de todo el mundo que lleven esta línea de investigación reporten sus resultados mediante un protocolo estandarizado, esto con la finalidad de tener resultados más precisos y poder estimar la viabilidad de esta técnica en diversos insectos, cultivos y condiciones ambientales, mediante la extrapolación de información.

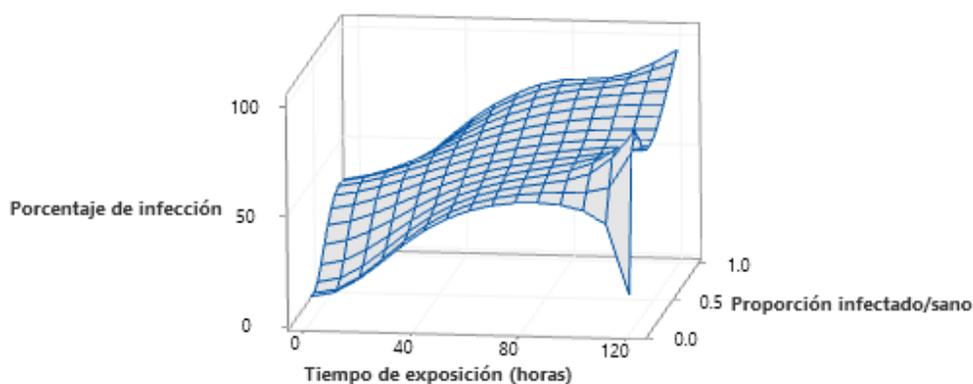


Figura 19. Interacción del tiempo de exposición y la proporción de insectos infectados/sanos en la respuesta del porcentaje de infección.

Este grafico corrobora la información obtenida en el estudio, donde se observa que a mayor proporción de insectos infectados/sano y a mayor tiempo de exposición del insecto infectado con los sanos, el porcentaje de infección incrementara, resultando en un mayor control de la población de insectos.

Tras hacer pruebas de colinealidad (figura 20), de determino segundo modelo para la regresión lineal múltiple asociada a la predicción de la respuesta de autodiseminación de hongos entomopatógenos ante insectos plaga. Se logra observar que o existe colinealidad entre las variables el tiempo del ciclo de vida de los insectos, el tiempo de vida en adultos del insecto, la proporción infectados/sanos y el tiempo de exposición del insecto infectado con los sanos, en los modelos de regresión lineal múltiples los predictores deben ser independientes, por lo que no debe haber colinealidad en ellos, ya que, si los predictores se encuentran en combinación lineal , la influencia de cada uno de ellos en la respuesta no puede distinguirse (López, 1998).

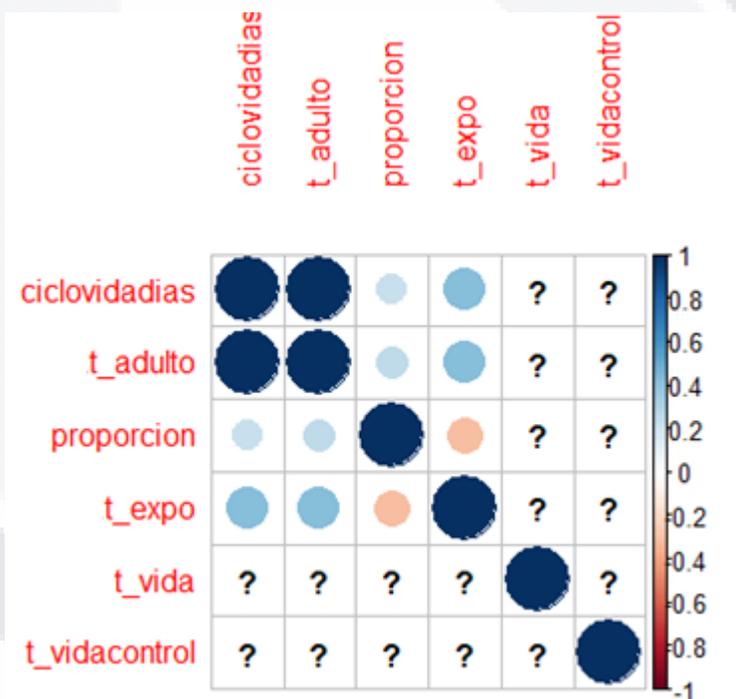


Figura 20. Modelo de colinealidad entre las variables.

Mediante el grafico del estadístico Cp de Mallows y R ajustada (Figura 21), se determinó el mejor modelo , obteniendo un modelo porcentaje de infección = Ciclo de vida del insecto + Tiempo de vida del insecto adulto + Proporción insecto infectado/sano + Tiempo de exposición + Tiempo de exposición + Tiempo de vida promedio del insecto infectado en el bioensayo + Tiempo de vida promedio del insecto control en el bioensayo, resultando un valor $p=2.75e^{-6}$ y una r^2 ajustada=0.987,

lo cual permite es un modelo que permite asociar estas variables a la predicción de la respuesta de infección del mecanismo de autodeseminación. Persona menciona que el estadístico Cp de Mallows y el estadístico r^2 ajustado se utilizan para elegir entre múltiples modelos de regresión, el estadístico Cp se busca que sea bajo y cercano al 0, mientras que para el r^2 ajustado se busca que sea alto e igual cercano a 0 (Guerra, 2016).

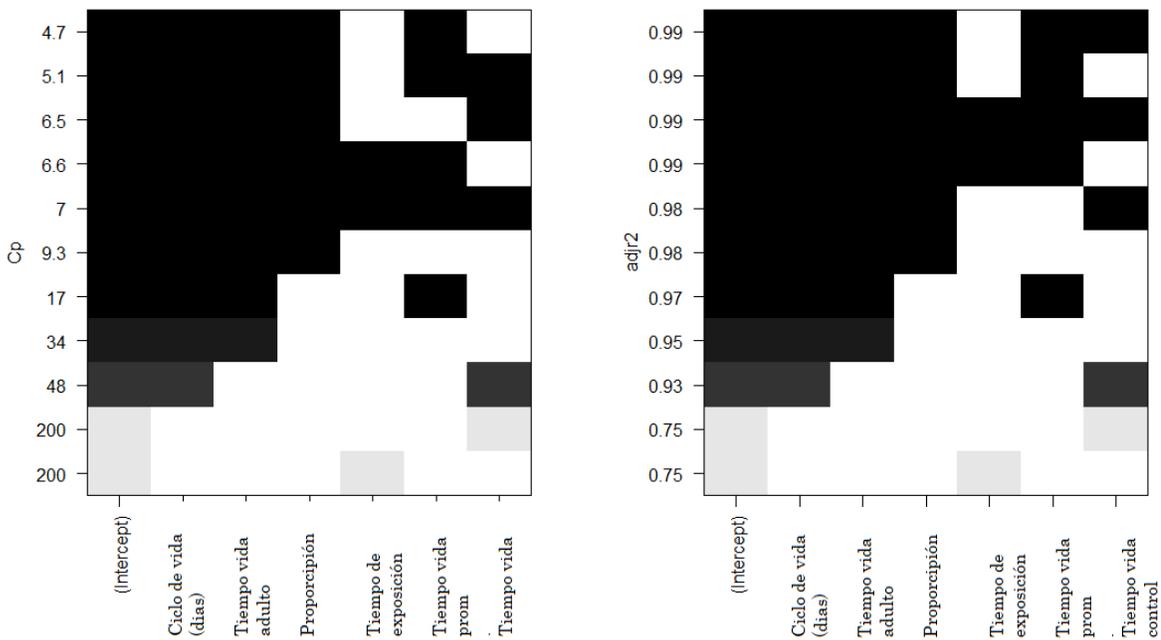


Figura 21. Interpretación grafica del estadístico Cp (izquierda) y r^2 ajustado (derecha). Los cuadros en color negro que incluyen al intercepto en el eje horizontal determinan el modelo, a la izquierda de cada grafica se muestra el valor de Cp y r ajustado. Cuando el estadístico sea más cercano a 0, mejor será el modelo.

6. CONCLUSIONES

El aislamiento de hongos entomopatógenos a partir de muestras de suelo, resulta ser una herramienta eficaz para la obtención de hongos con diferentes capacidades y características, lo que permite tener una amplia gama de opciones a usar para la eliminación de insectos plaga que afectan los cultivos de interés.

El hongo *Beauveria bassiana* mostró ser eficaz en el control de *Bactericera cockerelli*, provocando la muerte de hasta un 90.5 % de insectos en un lapso de 4 – 9 días. Así mismo la diseminación del hongo de adultos a hembras resultó ser eficaz reduciendo el tiempo de vida de las hembras infectadas.

La reducción en la progenie F1 de las hembras se vio favorecida en aquellas que estuvieron expuestas al hongo.

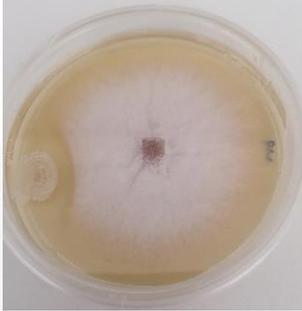
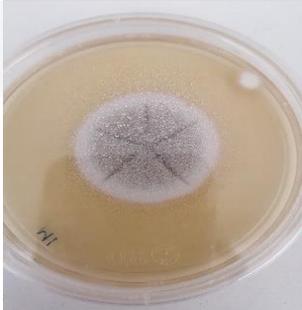
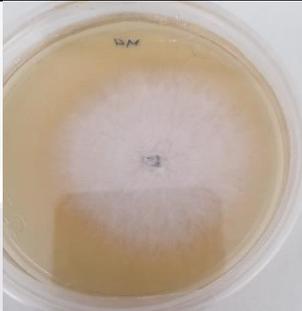
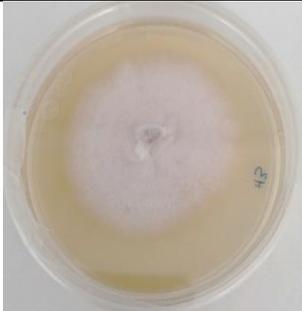
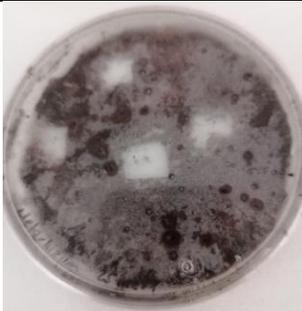
El análisis mediante ciencia de datos permite obtener información relevante acerca del mecanismo de autodiseminación de hongos entomopatógenos, y puede ser una herramienta viable para hacer estudios *in silico*.

El diseño de una base de datos acerca de estudios en el área agrícola con información específica ayudaría a crear modelos predictivos en las diferentes subáreas.

Es fundamental hacer un análisis para seleccionar las variables que mejor describan nuestro modelo, razón por la cual es importante usar los estadísticos C_p y r ajustada.

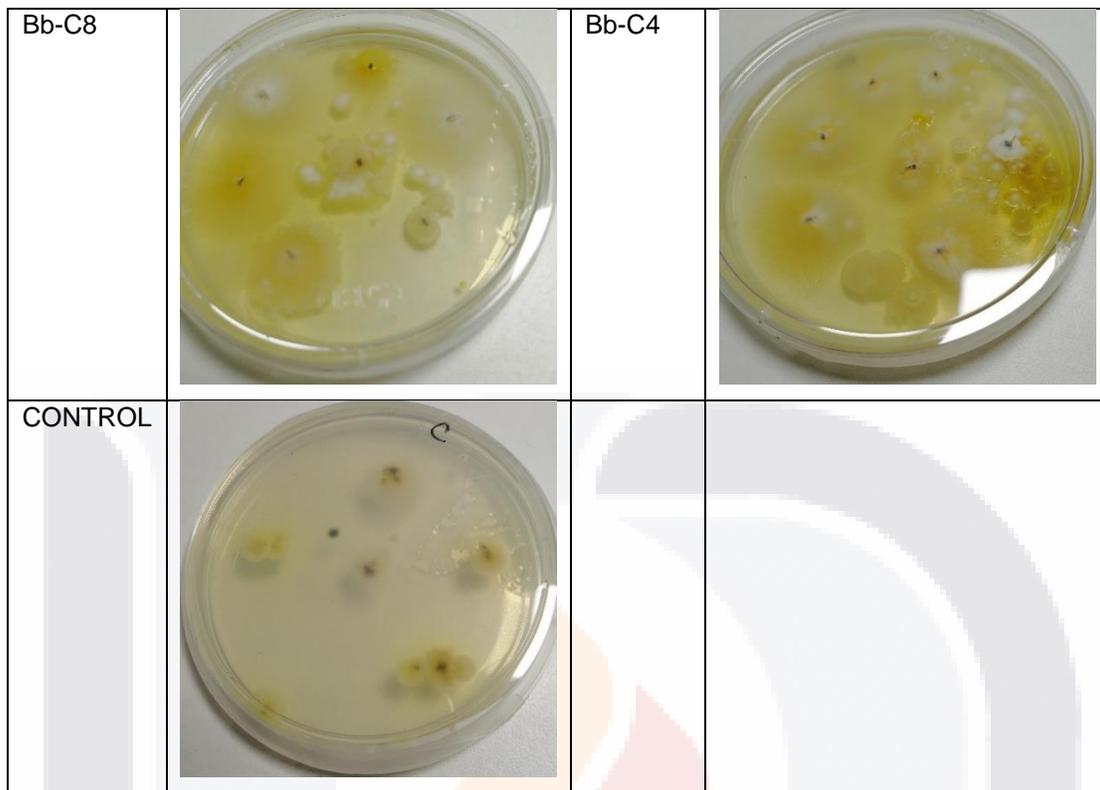
ANEXOS

Anexo 1. Cepas de hongos aisladas a partir de muestras de suelo.

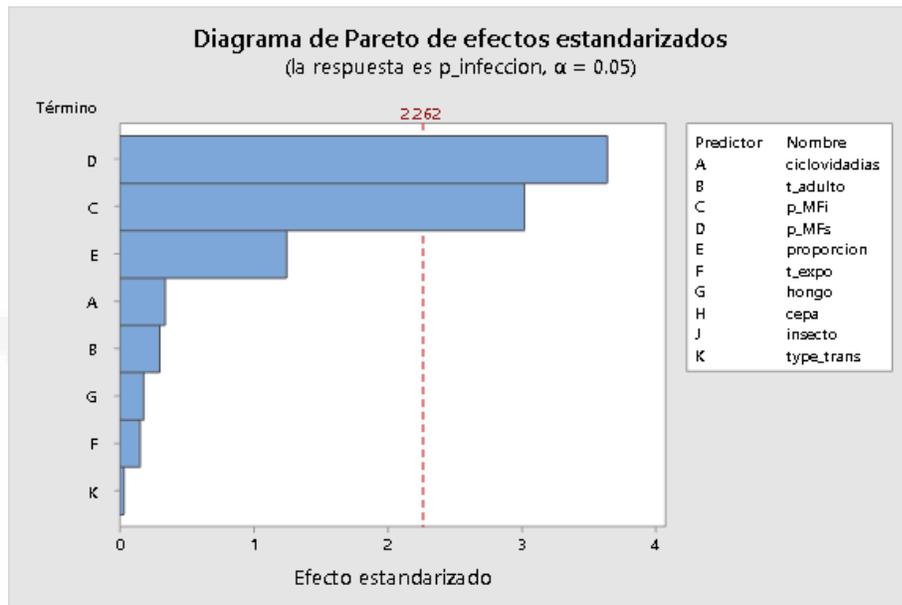
Muestra	Hongo	Muestra	Hongo
Bb-C9 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 9		Bb-C7 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 7	
Bb-C5 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 5		Bb-C1 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 1	
Bb-C8 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 8		Bb-C3 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 3	
Ma-C3 <i>Metarhizium anisopliae</i> , cepa 3		Bb-C4 <i>Beauveria bassiana</i> , cepa 4	

Anexo 2. Fotografías de bioensayo. Se muestra el crecimiento fúngico en los insectos muertos por el hongo entomopatógeno.

Muestra	Resultados Bioensayo	Muestra	Resultados Bioensayo
Bb-C9		Bb-C7	
Bb-C5		Bb-C1	
Ma-C3		Bb-C3	



Anexo 3. Diagrama de Pareto, se identifica la magnitud con la que cada variable afecta la respuesta del porcentaje de infección en el mecanismo de autodiseminación.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C., González, A., Pérez, A., Ramírez, S., Carapia, V. (2017). Combate químico de *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo de cebolla en Morelos, México. *Acta zoológica mexicana*, 33(1), 39-44.
- Azazy, A. M., Abdelall, M. F. M., El-Sappagh, I. A., & Khalil, A. E. H. (2018). Biological control of the onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae), in open fields using Egyptian entomopathogenic nematode isolates. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1).
- Bignell, D., Huising, E. J., Moreira, F. (2012). Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp.
- Bujanos, R., Marín, A., Díaz, L., Gámez, A., Ávila, M., Herrera, R., ... Gámez, F. (2013). Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del bajío, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 5-40.
- Bustillo, A. B., Benavides, M., Bernardo, P. B. (1999). Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* Infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) Populations Emerging from Fallen Coffee Berries. *The Florida Entomologist*, 82 (1), 491.
- Caudillo, K. B. (2010). Descripción morfológica, biológica y susceptibilidad de *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae), a diferentes insecticidas. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. México. 6-17.
- García, C. A., Reyes, F., Rodríguez, M. A., Cortez, H., Acosta, M., Ibarra, L.A., Velázquez, M. A., Silva, J. T., Rebollar, M., García, A. M. (2015). Autodissemination of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in *Musca domestica* L. Results in Less Oviposition and Short Gonotrophic Cycle. *Southwestern Entomologist*, 40(3), 519-529.
- Caputo, B., Ienco, A., Cianci, D., Pombi, M., Petrarca, V. (2012) The "Auto-Dissemination" Approach: A Novel Concept to Fight *Aedes albopictus* in Urban Areas. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 6 (8), 1793.
- Castro, L. M. (2016). Efecto de dos sistemas de siembra y fertilización en dos variedades de poro (*Allium porrum*)(Liliaceae) sobre la incidencia del thrips de la cebolla, (*Thrips tabaci* Lindeman) (Thysanoptera, Thripidae). Tesis. Universidad Privada Antenor Orrego. Peru.
- CESAVEM. 2014. Manejo integrado de la paratrioza (*Bactericera cockerelli*). <http://www.cesavem.mx/img/fitosanitariodeljitomate/jitomate2.pdf>.

- Cisneros, F. (2010). El manejo integrado de plagas. Control de plagas agrícolas. Fasciulo 13.
- Cuesta, A. 2007. El Cultivo del Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila. 5-7.
- Durán, A., Velarde, L., & Chino, V. O. (2007). Técnica de laboratorio para la cría de thrips tabaci lindeman (thysanoptera: thripidae). *Avances en agroecología y ambiente*, 1, 327-336.
- Espinel, C., Villamizar, L., Torres, L., Cotes, A. (2018). Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga.
- FAO. (2013). El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. <http://www.fao.org/3/i3359s/i3359s.pdf>.
- FAO. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva*. <https://doi.org/0251-1371>.
- FIRA. (2019). Tomate rojo 2019. Panorama Agroalimentario. 2-10.
- Hernández, E., Lobato, R., García, J. J. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones f2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (3), 209-215.
- García, A. M., Garza, J. A., Rebollar, E. A., Rodríguez, M. A., Reyes, F. (2011). Transmission of *Beauveria bassiana* from male to female *Aedes aegypti* mosquitoes. *Parasites & vectors*, 4 (24).
- García, A. (2011). Hongos entomopatógenos (mycota: deuteromycetes) aislados en el noroeste de México: impacto sobre la longevidad, fecundidad, fertilidad y tasas de cópula e inseminación en *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae). Tesis de Doctorado. Universidad Autonoma de Nuevo Leon. Mexico.
- García, C. (2016). Factibilidad del empleo de hongos entomopatógenos en el control de *Musca domestica* L. en paisajes antropizados del noreste de michoacan, Mexico. Tesis de Doctorado. Instituto Politecnico Nacional. Mexico.
- Gómez, M., Santamaria, E., Méndez, J. S., Ríos, J. L. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* B.y L.) (homoptera: triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7 (1), 47-56.
- Guedez, C. (2014). Caracterización morfológica de *Beauveria bassiana*, aislada de diferentes insectos en trujillo- venezuela. *Revista academia*, 15 (1), 275-281.
- Guerra, A. (2016). Técnicas de Selección de Variables en Minería Estadística de Datos. Tesis. Facultad de Matematicas, Estadística e Investigacion Operativa. España.

- Gutiérrez, O., Cortez, H., Malo, E., Nord, R. (2018). Feromona sexual y hongos entomopatógenos: Un plus en su aprovechamiento en el manejo integrado de plagas. *Biotecnia*, 20(1) 28-34.
- Jacas, J., Caballero, P., Avilla, J. (2010). El control biológico de plagas y enfermedades. 5ª .Universitat Jaume I. España. 19 pp.
- Jirón, R. L., Nava, U., Jiménez, F., Alvarado, O. G., Ávila, V., García, J. L. (2016). "Densidades de *Bactericera cockerelli* (Sulc) e Incidencia del "Permanente del Tomate" en Diferentes Condiciones de Producción del Tomate," *Southwestern Entomologist*, 41(4), 1085-1094.
- Martinez, A. L., Huerta, K. K. (2018). La revolución verde. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 4 (8), 1041-1052.
- Mondragón, I., Contreras, Y. (2015). Uso de los insectos *Tenebrio molitor*, *Tribolium castaneum* y *Palembus dermestoides* (Coleoptera, Tenebrionidae) como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista de Investigación*, 39 (86). 255-270.
- Nuez, F., Esquinas, A. J., Chamarro, L. J. (2001). El cultivo del tomate. Anatomía y fisiología de la planta. Mundi prensa. México. 15-85.
- Lawrence A. L., de la Rosa, F. Horton, D. F. (2009) Insecticidal activity of entomopathogenic fungi (Hypocreales) for potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae): Development of bioassay techniques, effect of fungal species and stage of the psyllid, *Biocontrol Science and Technology*, 19 (9), 957-970.
- León, G., Campos, J., Arguelles, J. (2019). Pathogenicity and autodissemination of promising entomopathogenic fungi strains on *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Dryophthoridae). *Agronomía Mesoamericana*, 30 (3), 631-646.
- Licona, V. (2011). Problemática de la *Paratrioza cockerelli* (Sucl.) (*Bactericera cockerelli*) en el cultivo de papa y tomate. Tesis pregrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Liu, J., Zhang, Z., Beggs, J. R., Paderes, E., & Zou, X. (2020). Lethal and sublethal effects of entomopathogenic fungi on tomato / potato (Hemiptera: Triozidae) in capsicum. *Crop Protection*, 129 (1), 1-20.
- López, E. (1998). Tratamiento de la colinealidad en regresión múltiple. *Psicotherma*, 10 (2), 491-507.
- Mongue, J. E., Loría, M. (2021). Determinación de criterios de selección para el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo invernadero. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25 (1), 7-19.

- Montesinos, R., Viniegra, G., Alatorre, R., Gallardo, F., Loera, O. (2011). Variación de fenotipos de crecimiento y de virulencia en cepas mutantes de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. resistentes a 2-desoxi-D-glucosa. *Agro ciencia*, 45(8), 929-942.
- Motta, P. A., Murcia, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Revista ambiente y agua*, 6 (2), 77-90.
- OIRSA. (2015). El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA., 302.
- Pérez, G. (2017). Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Sahel bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila. 8-21.
- Pérez, F., Arévalo, M. L., Pérez, J. L. (2020). Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43 (1), 89-99.
- Ponce, J. J., Peña, A., Rodríguez, E. J., Mora, R., Castro, R., Magaña, L. N. (2012). Densidad y poda en tres variedades de tomate de cascara (*physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en invernadero. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autonoma de Chapingo. 1-8.
- Pucheta, M., Flores, A., Rodríguez, S., de la Torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31 (12), 856-860.
- Reyes, F., Garza, J. A., Garcia, A. M., Tamez, P., Howard, A. F., Rodriguez, M. A. (2011). Dissemination of *Metarhizium anisopliae* of low and high virulence by mating behavior in *Aedes aegypti*. *Parasites & Vectors*, 4(1), 171.
- Rivera, R., Acosta, A. D., Ramírez, J. F., Figueroa, D. K., Maldonado, F. I., Lara, A. V. (2017). "Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)," *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1057-1068.
- Rodríguez, M., Gerding, F., France, A. (2009). Selection of Entomopathogenic Fungi to Control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Chilean journal of agricultural research*, 69(4), 534-540.
- Ruiz, R., Ruiz, J., Guzman, S., Perez, E. (2011). Diagnostic evaluation of management of insecticides in the control of tomato pests. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 129-137. Retrieved May 16, 2019, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-

49992011000200004&lng=en&tlng=en.

SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.

Sañudo, R. R. 2013. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Y el potencial endofítico de diferentes aislados de *Beauveria bassiana*. Universidad Autonoma Indigena de Mexico. Los Mochis Sinaloa. 23-30.

Schaper, E. B. (2012). Proceso de Arribo de *Bactericera cockerelli* (Sulc) y su Relación con la Aparición de Síntomas de Punta Morada en el Cultivo de la Papa *Solanum tuberosum* L. en Coahuila y Nuevo León. Tesis. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.

Schapoaloff, M. E. (2012). Diversidad y patogenicidad de especies de hongos entomopatógenos en insectos plaga de la yerba mate *Ilex paraguariensis* en la provincia de Misiones. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 24-29.

Servin, R., Tejas, A., Cota, A. (2008). Primer Reporte de *Bactericera cockerelli* Sulc, en Plantaciones Hortícolas de Baja California Sur, México. *Southwestern Entomologist*, 33 (1).

Singaraju, J. Bhargavi, P. (2017). *Data Science and Computational Biology*.

Suarez, J. (2014). *Epidemias inducidas de Beauveria bassiana en poblaciones controladas de Bactericera cockerelli (Hemiptera: Psyllidae)*. Tesis de Maestría. Instituto Politecnico Nacional. Mexico.

Suárez, J., Cortez, H. (2014). Transmisión horizontal de *Beauveria bassiana* en poblaciones controladas de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: psyllidae). *Entomol. Mex.* 1 (1), 338-343.

Suárez, J., Cortez, H., García, A. M. (2017). "Epidemiology of *Beauveria bassiana* in Controlled Populations of *Bactericera cockerelli*," *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1041-1056.

Télez, A., Cruz, M. A., Mercado, Y., Asaff, A., Arana, A. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, 30 (1), 73-80.

Waters, T., Wohleb, C. (2016). Los Thrips de la cebolla, 7. Recuperado de <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/FS126ES/FS126ES.pdf>